INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ETAT A GEMBLOUX

TOME XXII, Nos 3-4. 1954

# BULLETIN

DE

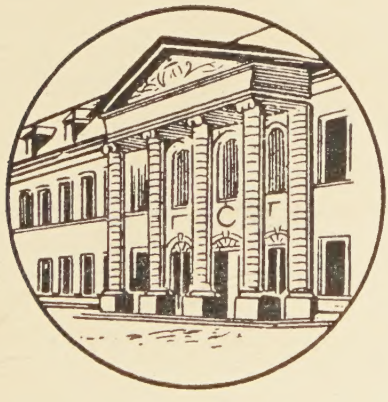
# L'INSTITUT AGRONOMIQUE

ET DES

# STATIONS DE RECHERCHES

DE

# GEMBLOUX



IMPRIMERIE G. I. C.
61, Av. de la Liberté, 61
BRUXELLES

COMMONWEALTH MYCOLOGICAL INSTITUTE
15 JAN 1955

# Sommaire


BONNIER, C. — Action de la colchicine sur la symbiose *Rhizobium — Medicago sativa et Rhizobium — Trifolium pratense* . . . . . 167

BRENY, R. — *Neodiprion sertifer*, Geoffr.; l'œuf et le végétal . . . . 179

CALEMBERT, J. — Quelques données sur l'évaporation et les déficits en eau en Belgique . . . . . 189

DEMORTIER, G. et DROEVEN, G. — Appareil permettant la détermination de la stabilité de la structure des sols . . . . . 213

DEMORTIER, G. et DROEVEN, G. — Type de sonde permettant le prélèvement d'échantillons de sol en place . . . . . 216

DEMORTIER, G. et HUGE, P. — Dispositif expérimental pour l'étude de la fermentation méthanique au laboratoire . . . . . 220

DE MUNTER, P. — Comparaison d'un ou de plusieurs échantillons à un échantillon de référence . . . . . 224

HENNAUX, L. et LECOMTE, R. — L'épeautre en alimentation animale . . 232

LEGROS, R. — Détermination des taux de nicotine et de nornicotine de quelques variétés de tabac cultivées dans le pays et de quelques hybrides à l'étude à la Station . . . . . 235

LENGER, A. — A propos d'une loi mathématique simple concernant la structure équilibrée des peuplements forestiers. Première partie . . . . 241

MANIL, G. — Un aspect du problème du bilan de l'eau dans le sol : les données de PENMAN sur l'évaporation en conditions naturelles . . . 255

MARTIN, L. et LENGER, A. — Analyse biométrique des courbes d'exportation d'éléments minéraux du sol par les végétaux . . . . . 272

Note. — FROMENT, D. — Quelques résultats au sujet du pH et du pouvoir tampon de la fane de différentes essences forestières . . . . . 287

IN MEMORIAM. — *Vaneberg, L.* † . . . . . 290
*Klettenberg, R.* † . . . . . 291
*Marchal, E.* † . . . . . 291

Bibliographie . . . . . 292

Livres reçus . . . . . 296

Communiqué. — Institut Belge de normalisation. (I.B.N.) . . . . . 298

TABLE DES MATIERES. — Tome XXII, n$^{os}$ 1-2 et 3-4 . . . . . 299



Les articles sont publiés sous la seule responsabilité de leurs auteurs.



Le *Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux* paraît normalement quatre fois par an. Toutefois, provisoirement, le nombre des livraisons a dû être limité.

Le prix de l'abonnement est de 175 francs par an, somme à verser au compte de chèques postaux n° 7621.08 du Bulletin de l'Institut Agronomique de Gembloux (Belgique) ou à payer par mandat postal.

Prix du présent volume : 90 francs. Pour la commande, prière de s'adresser au Secrétariat du *Bulletin*.

a) **Le Bulletin sera envoyé en échange des publications similaires des Etablissements d'Enseignement Supérieur, des publications périodiques des Sociétés scientifiques et des Revues Scientifiques en général.**

b) **Tout ouvrage scientifique dont un exemplaire est adressé à la Rédaction, sera signalé sous la rubrique « Bibliographie ».**



Toute reproduction des articles parus dans le Bulletin est strictement interdite, sauf autorisation du Comité de Rédaction.

INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ETAT A GEMBLOUX

TOME XXII, Nos 3-4. 1954

# BULLETIN

DE

# L'INSTITUT AGRONOMIQUE

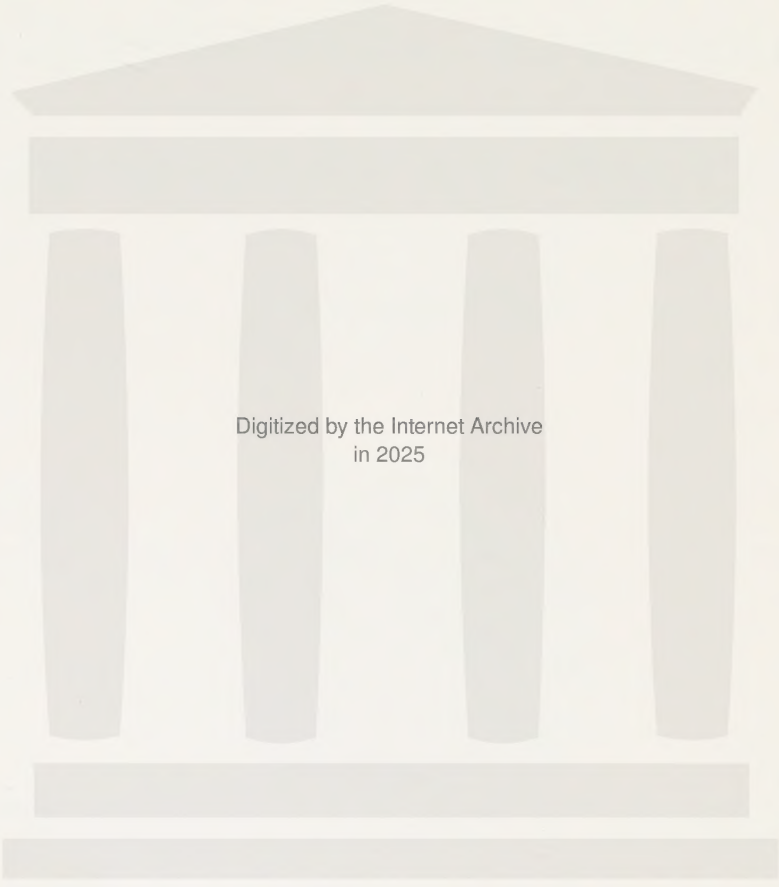
ET DES

# STATIONS DE RECHERCHES

DE

# GEMBLOUX

IMPRIMERIE G. I. C.
61, Av. de la Liberté, 61
BRUXELLES



Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/biotechnologie-agronomie-societe-et-environnement_1954_22_3-4

CHAIRE DE MICROBIOLOGIE

# Action de la colchicine sur la symbiose *Rhizobium-Medicago sativa* et *Rhizobium-Trifolium pratense* (*)

par

Charles BONNIER,
*Associé du Fonds National Belge de la Recherche Scientifique.*

## Introduction

Depuis les travaux de WIPF et COOPER (1938) (1), on sait que les cellules des nodules de Légumineuses possèdent un nombre de chromosomes double du nombre normal 2n.

Cette observation a été nettement vérifiée par des travaux ultérieurs de WIPF (2), qui utilisa notamment des espèces Légumineuses polyploïdes, obtenues naturellement ou artificiellement. Citons l'exemple suivant : le nombre chromosomique de base dans le genre *Medicago* est 8 (2n = 16). Les cellules du nodule d'une espèce de *Medicago* à 16 chromosomes (2n), contiennent 32 (4n) chromosomes. *Medicago sativa* L. est un tétraploïde naturel; on peut noter à la pointe des racines 32 (4n) chromosomes. Dans les cellules de cette espèce infectées par le *Rhizobium*, on trouve 64 (8n) chromosomes. Si on inocule un octoploïde, produit artificiellement, le nombre de chromosomes dans le nodule est de 128 (16n).

Ce rapport défini et constant de 2/1 dans le nombre de chromosomes des cellules infectées et non infectées a été vérifié par WIPF (2) sur 31 espèces de Légumineuses. Ce doublement semble donc bien lié à la nodulation. Une fois le nodule en formation, rien ne peut troubler ce rapport 2/1, même si la fixation d'azote est partiellement ou totalement inhibée.

(*) Déposé à la rédaction le 25 octobre 1954.

Ou bien cette polyploïdie des cellules infectées est produite par l'infection, ou bien, seules, des cellules naturellement disomatiques sont envahies par la bactérie. Si nous ne trouvons aucune observation en faveur de la première de ces hypothèses, la seconde, par contre, est appuyée par plusieurs auteurs, WHITAKER (3), WULFF (4) et BRESLAWETZ (5) notamment. Entr'autres observations, il fut constaté, dans les racines de plantes de *Pisum* et *Vicia*, quelques rares cellules naturellement disomatiques, pourvues d'un nombre de chromosomes double de celui des cellules normales. Ainsi donc, seules ces cellules naturellement polyploïdes seraient envahies par les bactéries. Ceci expliquerait d'ailleurs très bien pourquoi peu de nodules se forment, relativement au grand nombre de poils radiculaires infectés.

Si les nodules se forment à partir de cellules naturellement disomatiques, n'est-il pas possible d'influencer l'infection en traitant des jeunes plantules au moyen de poisons mitotiques ? La colchicine par exemple pourrait, à certaines doses supportées par la plante, provoquer la formation de cellules disomatiques plus nombreuses, d'où pourrait résulter un nombre plus élevé de nodules.

Telle est la question que nous nous sommes posée.

Nous avons entrepris également d'étudier l'influence de la colchicine sur la bactérie elle-même, le *Rhizobium*.

On peut tenter en effet de modifier la symbiose en agissant et sur la plante et sur la bactérie.

Nous connaissons relativement peu de chose concernant l'action de la colchicine sur les bactéries. STERZL (6) a observé la désintégration de la substance nucléaire (méthode de ROBINOW) (7) sur *Escherichia coli*, cultivé en milieu contenant de la colchicine. La taille des bactéries augmente ainsi que le nombre de « noyaux » qui passe de 4 à 6 ou 8. Parallèlement, se produisaient des changements de propriétés biochimiques. Des souches initialement incapables d'utiliser le saccharose deviennent capables de faire fermenter ce sucre après action de la colchicine. Il y a donc apparition de mutants.

WALKER et YOUMANS (8), par contre, ont obtenu des résultats négatifs au cours de leurs essais d'obtention de mutants au moyen de colchicine.

Bref, il s'agit d'observer l'influence éventuelle de la colchicine sur les caractères microscopiques et culturaux de la bactérie. L'influence possible sur les caractères physiologiques des souches, spécificité, « effectivité » notamment, constituent également un aspect très important du problème.

Nous nous proposons de rapporter ici une première partie de nos observations qui ont trait, tout particulièrement, à l'influence de la colchicine sur la symbiose chez *Medicago sativa* et *Trifolium pratense*.

Des observations sur des cultures de *Rhizobium*, traitées « in vitro », sont actuellement en cours et seront rapportées ultérieurement.

## Matériel et Méthodes

Nous avons étudié l'effet de la colchicine sur des plantules de *Medicago sativa* et *Trifolium pratense* cultivées aseptiquement en tubes de verre.

Les semences sont tout d'abord désinfectées extérieurement, selon notre procédé habituel : trempage de 10 secondes dans l'alcool à 96°, suivi d'une immersion de 6 à 7 minutes dans une solution de $HgCl_2$ à 2,5 pour mille; l'opération se termine par 8 rinçages consécutifs à l'eau stérile.

Les graines sont ensuite mises à germer sur un milieu gélosé très riche où les contaminations éventuelles se décèlent très facilement : eau de levure gélosée à la mannite, selon Wright (9). Les plantules sont enfin transférées aseptiquement en tubes « inclinés », (180 × 18 mm), bouchés au coton et contenant 7 cc de milieu minéral gélosé, dépourvu d'azote. Il s'agit du milieu de Nicol et Thornton (10) :

| | |
|---|---|
| $K_2HPO_4$ | 0.5 g |
| $MgSO_4, 7H_2O$ | 0.2 g |
| NaCl | 0.1 g |
| $FePO_4$ | 1 g |
| $Ca_3(PO_4)_2$ | 2 g |
| $FeCl_3$ | 0.01 g |
| Agar | 15 g |
| Eau de conduite | 1 litre |

La colchicine, purissime cristallisée de Merck, a été utilisée de deux façons, à diverses concentrations : soit en solution dans le milieu gélosé, soit ajoutée dans le tube, en solution aqueuse, après le refroidissement du milieu gélosé.

Les souches bactériennes suivantes ont été utilisées : les plantules de *Medicago sativa* ont été inoculées au moyen de la souche *Rhizobium S. 22*, de grande spécificité et de pouvoir fixateur très élevé. Les plantules de *Trifolium pratense* furent inoculées au moyen de la souche *Rhizobium S. 50*, excellente souche fixatrice et très spécifique.

L'ensemble des tubes a été installé en serre; la partie inférieure des tubes, contenant les racines, était abritée de la lumière.

## Résultats

### A. — SUR *MEDICAGO SATIVA*.

Cinq groupes de 35 plantules de *Medicago sativa* ont été traités comme suit, au stade cotylédonaire :

I 35 tubes ont reçu 1/2 cc d'eau stérile. Ils ont été utilisés pour les plantules témoins, *non inoculées*.

II 35 tubes ont reçu 1/2 cc d'une suspension de *Rhizobium S. 22*, souche spécifique et « effective » de *Medicago sativa*. Ces tubes ont servi de *témoins inoculés*.

III 35 tubes ont reçu 1/2 cc d'une suspension de *Rhizobium S. 22* dans la colchicine à 1/25.000. La colchicine, ajoutée après que le tube gélosé eut fait prise, était donc présente en solution dans le fond du tube, incliné avant refroidissement.

IV 35 tubes contenaient dans leur solution nutritive gélosée de la colchicine à raison de 1 partie pour 25.000. Ils reçurent en outre 1/2 cc d'une suspension aqueuse de *Rhizobium S. 22*.

V 35 tubes contenaient dans leur solution nutritive gélosée 1/2 cc d'une solution aqueuse de colchicine à 1/25.000 et reçurent également 1/2 cc d'une suspension aqueuse de *Rhizobium S. 22*.

Puisque les tubes étaient garnis de 7 cc de milieu gélosé, les tubes IV contenaient 14 fois plus de colchicine que le tubes ayant reçu 1/2 cc d'une solution à 1/25.000. Signalons que, dans ce cas, la colchicine était répartie dans toute la masse du milieu, alors que dans les tubes III la colchicine était concentrée dans 1/2 cc d'eau, à la partie inférieure de la gélose inclinée.

Des essais préliminaires nous avaient montré que *Medicago sativa* présente, dans les conditions de l'essai, un facies normal si on ajoute au tube 1/2 cc de colchicine à 1/25.000. Sans doute, la plante résiste, dans nos conditions de travail, à des concentrations plus fortes; mais, bien que, à certaines doses, la croissance puisse rester continue, le facies présente alors certaines anomalies.

*Action sur les plantules, avant nodulation.*

Les tubes III et les tubes V contiennent des plantules normales qui ne se différencient en rien des plantules des tubes I et II témoins. La racine principale atteint rapidement la partie des tubes III contenant la solution de colchicine; la croissance est normale. Par la racine, à sa partie inférieure, de la colchicine pénètre dans la plantule, en quantité insuffisante pour modifier le facies de la plante.

Les tubes IV, par contre, qui contiennent 14 fois plus de colchicine que les tubes III et V ont des plantules qui présentent les anomalies bien connues dues à la colchicine, (multiplication des tiges aériennes, épaississement des tiges et racines, arrêt de l'élongation, concentration de la chlorophylle, etc.). Dans le cas des tubes IV en effet, la colchicine est prélevée par les plantules dans toute la masse du milieu gélosé. Dans les tubes III par contre, le prélèvement de colchicine ne s'effectue que dans le fond du tube, là où se situe le 1/2 cc de solution de colchicine. Les racines latérales situées en dehors de cette zone prélèvent dans le milieu normal; avec cette réserve toutefois qu'une certaine diffusion peut s'effectuer dans le milieu.

*Date d'apparition des nodules.*

Sur les plantules des tubes III, c'est-à-dire les tubes contenant 1/2 cc de solution de colchicine à 1/25.000, les premiers nodules apparaissent 3 à 4 jours plus tôt que sur les plantules des tubes témoins inoculés II.

Aucune différence dans la date d'apparition des nodules entre les tubes II et les tubes V qui contiennent 1/2 cc de colchicine à 1/25.000, dispersée dans toute la masse du milieu gélosé.

A titre d'information, signalons qu'il y a un retard très net dans la date d'apparition des nodules sur les plantules anormales des tubes IV dont le milieu gélosé contient de la colchicine à raison de 1 part pour 25.000. Le premier nodule apparaît 12 jours après la formation des premières nodosités dans les tubes témoins II inoculés.

*Nombre de nodules.*

Le nombre de nodules est nettement augmenté par rapport aux plantes témoins, sur les plantes des tubes III. La plupart des plantes témoins portent sur leurs racines 4 à 5 nodules, exceptionnellement 10 sur 2 plantes (sur 35). Les plantes des tubes III qui contiennent 1/2 cc de solution de colchicine à 1/25.000 portent généralement plus de 10 à 12 nodosités; 3 tubes ont 20 nodules ou plus et ont des racines, par endroits, entièrement couvertes de nodosités.

Voici d'ailleurs un tableau donnant la répartition des nodules pour les plantes des tubes II et III.

| Plantes des tubes II. Témoins inoculés. | | Plantes des tubes III inoculés ayant reçu 1/2 cc de colchicine 1/25.000. | |
|---|---|---|---|
| 5 | 3 | 10 | plus de 7 |
| 4 | 1 | 11 | plus de 12 |
| 5 | — | 13 | 0 |
| 6 | 5 | 8 | — |
| 10 | 2 | 12 | 14 |
| — | 3 | 14 | 12 |
| 2 | 7 | 7 | 16 |
| 3 | 4 | 12 | 22 |
| — | 4 | 13 | 11 |
| 4 | 4 | 9 | 20 |
| 6 | — | 10 | 13 |
| 8 | 10 | 0 | 15 |
| 5 | 4 | — | 20 |
| 0 | 2 | plus de 11 | 10 |
| 6 | 3 | 6 | — |
| 2 | 0 | 13 | 9 |
| 0 | — | 10 | 2 |
| | — | | 3 |
| Total observé : 148. | | Total observé : 345. | |

Le nombre de nodules dans certains tubes n'a pu être lu avec précision : des nodosités se forment en effet dans l'épaisseur de la gélose et sont parfois difficilement discernables.

Les tubes marqués — ont été éliminés de l'essai : il s'agissait soit de tubes brisés lors des manipulations, soit de tubes infectés par des moisissures.

Il n'y a aucune différence appréciable dans le nombre de nodules entre les tubes témoins II et les tubes V qui contiennent 1/2 cc de colchicine 1/25.000, dispersé dans toute la masse du milieu. Sur les plantules anormales des tubes IV où la concentration en colchicine est 14 fois plus grande que dans les tubes V, les nodosités sont beaucoup moins nombreuses. Beaucoup de tubes n'ont qu'un nodule, certains n'en ont pas du tout, quelques-uns en ont deux. La quantité de colchicine est ici beaucoup trop forte. On peut très bien se rendre compte que la formation du nodule est liée au développement de la plante. Nous constatons que là où la colchicine freine le développement, les nodules sont eux aussi retardés dans leur formation; leur nombre est très nettement diminué.

*Dimensions des nodules.*

Les nodules des tubes II, III et V sont sensiblement les mêmes du point de vue morphologique.

Signalons que, par contre, les quelques nodules des tubes IV, (plantes anormales) sont nettement plus gros que les nodosités normales. Nous constatons sur ces plantes naines, aux tiges et racines très fortement épaissies, des nodules également très volumineux.

*Action sur la symbiose en général.*

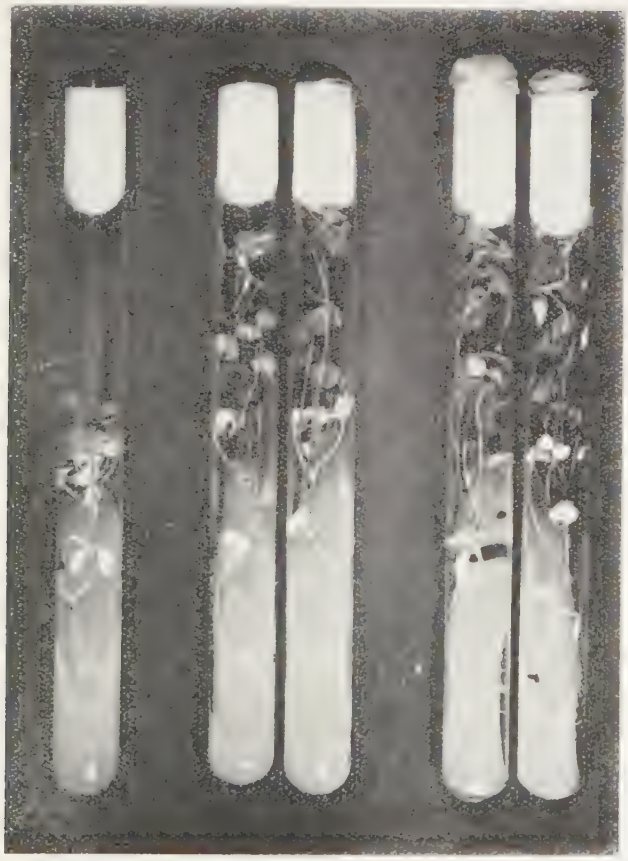
Si nous considérons l'état de la plante comme le critère de l'efficience de la symbiose, nous observons les phénomènes suivants :

Les plantes I (témoins non inoculés) présentent toutes les caractéristiques des végétaux privés complètement d'azote. Dès que les réserves cotylédonaires sont épuisées, la carence se manifeste. La plante reste petite, les quelques feuilles sont d'une teinte vert jaunâtre; les plus vieilles d'entre elles se déssèchent et se fanent. Les plantes des tubes II (témoins inoculés) ne souffrent pas de cette carence azotée. Les plantes occupent toute la hauteur des tubes. Les feuilles sont d'un vert foncé et indiquent que la fixation d'azote est active.

Les plantes des tubes III, contenant 1/2 cc d'une solution de colchicine à 1/25.000, sont nettement plus développées que les plantes témoins inoculées sans colchicine. Les feuilles sont plus nombreuses, d'un vert très foncé et témoignent de ce que l'activité fixatrice est accrue. La partie aérienne plus développée résulte du nombre plus élevé de nodules radiculaires. Nous ne pouvons affirmer que l'activité fixatrice au sein de chaque

nodule est plus élevée dans le cas des tubes avec colchicine, mais nous pouvons dire que l'activité fixatrice totale est accrue. On pouvait d'ailleurs s'y attendre puisque le nombre de nodules est augmenté. Nous aurions pu, après liquéfaction de la gélose, peser l'ensemble des plantules II et des plantules III, avec des résultats comparatifs certains : nous avons préféré poursuivre les observations.

Les plantes des tubes V ne présentent aucune différence décelable avec les plantes des tubes II (témoins inoculés). Les plantes IV ne peuvent être comparées avec les plantes témoins puisque leur facies est profondément modifié et présente des caractéristiques particulières.



I II III

FIG. 1.

I. — Plante témoin non inoculée.
II. — Plantes témoins inoculées.
III. — Plantes inoculées, ayant reçu 1/2 cc de solution de colchicine 1/25.000.

Signalons que, 5 mois après le traitement et l'inoculation des divers lots de plantules, l'action favorable de la colchicine est toujours très nette. Les différences entre plantes inoculées témoins et plantes inoculées traitées à la colchicine semblent s'intensifier encore.

### B. SUR *TRIFOLIUM PRATENSE*.

Quatre groupes de 30 plantules de *Trifolium pratense* ont été traités comme suit, au stade cotylédonaire :

I 30 tubes ont reçu 1/2 cc d'eau stérile et ont été utilisés pour les plantules témoins *non inoculées.*

II 30 tubes ont reçu 1/2 cc d'une suspension de *Rhizobium* S. 50, souche spécifique et « effective » de *Trifolium*, dans l'eau stérile. Ces tubes ont été utilisés pour les *témoins inoculés.*

III 30 tubes ont reçu 1/2 cc d'une suspension de *Rhizobium* S. 50, dans une solution de colchicine à 1/25.000.

IV 30 tubes ont reçu 1/2 cc d'une suspension de *Rhizobium* S. 50 dans une solution de colchicine à 1/5.000.

Dans les tubes traités, la colchicine est donc présente sous forme de 1/2 cc de solution, à la partie inférieure de la gélose inclinée.

*Action sur les plantules.*

Quelques jours déjà après le début de l'essai, on peut constater que les plantules de *Trifolium pratense* sont plus résistantes que les plantules de *Medicago sativa* à l'action de la colchicine. C'est ainsi que les plantules traitées avec 1/2 cc de colchicine à 1 5.000 ne présentent, au début, aucune anomalie morphologique. Les plantes de *Médicago sativa* par contre, traitées à cette concentration, présentent dans les conditions de notre essai, et dès le début, des anomalies nettement marquées. Toutefois, quelques semaines après le traitement, on observe un retard net dans le développement des plantules de *T. pratense*, traitées à la dose de 1 5.000. Les plantes sont morphologiquement normales, mais leur croissance est plus lente.

Les plantules des tubes III, qui ont reçu 1/2 cc de colchicine à 1 25.000 sont, morphologiquement, exactement pareilles aux plantules témoins. La colchicine est présente ici à une concentration trop faible pour modifier le facies de la plante, dans les conditions de nos essais.

*Date d'apparition des nodules.*

Comme dans le cas de *Medicago sativa*, les plantules traitées avec 1/2 cc de colchicine 1 25.000 (tubes III) forment leurs nodules 3 à 4 jours plus tôt que les plantules témoins inoculées.

Sur les plantules des tubes IV qui contiennent 1/2 cc de colchicine 1/5.000, on peut constater un retard très net dans la date d'apparition

des nodules. Pour les 30 tubes, le premier nodule apparaît avec un retard de 15 jours sur les plantules témoins. Les premiers nodules apparaissent ici alors que les plantes des tubes III et des tubes II ont déjà de nombreux nodules.

*Nombre de nodules.*

Pour *Trifolium pratense* comme pour *Medicago sativa*, le nombre de nodules est nettement augmenté sur les plantes III (1/2 cc de colchicine 1/25.000). Le nombre de nodules est au moins double de celui des plantes témoins. Plusieurs plantes traitées ont des nodules tellement nombreux, situés sur la partie inférieure de la racine principale, enroulée sur elle-même, qu'il est très difficile de les dénombrer. L'action est donc très nette.

Les plantules des tubes IV (1/2 cc de colchicine 1/5.000), anormales, puisqu'un retard net se marque dans leur croissance et leur développement, ont nettement moins de nodules que les tubes témoins inoculés. Nous avons déjà vérifié ce fait sur *Medicago sativa* : les plantules freinées dans leur croissance par la colchicine sont aussi freinées quant à la formation de nodules. Le fait était plus marqué encore sur *Medicago* dans l'essai précédent : les plantules avaient d'ailleurs plus souffert que dans le cas de *Trifolium pratense*.

*Dimensions des nodules.*

Seuls les tubes IV ont des plantes possédant des nodules de dimensions plus grandes que les nodules des plantes témoins. Cette observation est analogue à celle qui a été faite sur les plantes anormales de *Medicago sativa*, traitées par des quantités telles de colchicine que la croissance et le développement des plantes en furent affectés.

*Action sur la symbiose en général.*

Les plantes I (témoins non inoculés) présentent tous les signes d'une carence azotée totale : nanisme, jaunissement des feuilles qui se dessèchent au fur et à mesure que de nouvelles se forment.

Les plantes II (témoins inoculés) occupent toute la hauteur des tubes et ont un feuillage sain, vert et dense. La fixation d'azote est active.

Les plantes III, traitées avec 1 2 cc de colchicine 1 25.000 sont mieux fournies que les plantes II. Les feuilles, plus nombreuses, sur toute la hauteur des tiges, ont une couleur vert foncé, qui indique que l'azote fixé est abondant, que la plante vit dans un milieu plus riche en azote que les plantes II.

Ici, comme dans le cas de *Medicago sativa*, les différences restent très nettes après plusieurs mois de culture.

Les plantes IV ne sont pas comparables aux autres puisque leur croissance est déficiente.

| Plantes des tubes II. Témoins inoculés. | | Plantes des tubes III inoculés ayant reçu 1/2 cc de colchicine 1/25.000. | |
|---|---|---|---|
| 7 | 4 | 10 | 11 |
| 4 | 11 | plus de 20 | 9 |
| 3 | 3 | — | — |
| 5 | 4 | 12 | 18 |
| 1 | 12 | 18 | 19 |
| 6 | 0 | 11 | 0 |
| 0 | 6 | plus de 30 | 2 |
| 12 | 7 | 11 | 16 |
| 3 | 8 | 17 | 15 |
| 8 | — | 19 | 14 |
| — | 4 | plus de 25 | plus de 35 |
| 4 | 3 | 13 | 11 |
| 5 | 2 | — | 13 |
| 6 | 1 | 12 | — |
| — | 6 | 22 | plus de 20 |
| Total observé : 135. | | Total observé : 403. | |

FIG. 2.

A gauche, plantes témoins inoculées.
A droite, plantes traitées à la colchicine.

## Résumé et Discussion

La colchicine provoque la formation plus précoce d'un plus grand nombre de nodules sur des plantes de *Medicago sativa* et *Trifolium pratense*, inoculées au moyen de souches déterminées de *Rhizobium* et cultivées aseptiquement.

Cette action favorable dépend avant tout de la concentration du milieu en colchicine. Ce composé doit se trouver en concentration telle que son action apparente sur la plantule soit nulle. Les plantes témoins et les plantes traitées à la colchicine doivent d'ailleurs être morphologiquement semblables pour pouvoir être comparées entre elles quant à l'effet de l'inoculation. En ajoutant aux tubes contenant les plantules, 1/2 cc d'une solution aqueuse de colchicine à 1/25.000, les plantes ne subissent aucune action apparente, alors que des concentrations plus fortes influent sur la morphologie. Dans l'essai relaté, 1/2 cc de colchicine 1/25.000 provoque une nette augmentation du nombre de nodules actifs; de plus, la quantité d'azote fixée est accrue puisque la partie aérienne des plantes est plus développée, le nombre de feuilles plus élevé (fig. 1).

A des concentrations plus fortes, la colchicine influe sur le faciès de la plante dont le développement marque un retard très net. Notons toutefois que pour inhiber totalement la formation de nodules, la concentration en colchicine doit être telle que le développement de la plantule soit complètement arrêté, aussi bien dans sa partie aérienne que dans la partie radiculaire. En effet, des nodules se forment encore (un ou deux par plante au maximum) là où le développement se poursuit, même très lentement. Ces nodules formés sur les racines épaissies sont morphologiquement différents des nodosités normales. Leur taille surtout est en nette augmentation. Notons que les plantes traitées à ces fortes concentrations présentent le faciès polyploïde typique : nanisme, épaississement généralisé des tiges et des racines, etc... Des examens cytologiques pourront ultérieurement nous renseigner sur la constitution anormale éventuelle du nodule, formé dans ces conditions.

Signalons que nous avons utilisé pour l'inoculation, des souches particulièrement « effectives » et que tous les nodules formés, même les rares nodosités très grosses formées sur des plantes traitées à de fortes concentrations, ont une couleur rouge très nette, indicatrice de la présence de leg-hémoglobine, indispensable à la fixation.

Il faut ajouter que l'action favorable de la colchicine à faible concentration a été observée en conditions aseptiques dans des tubes à essai stériles contenant un milieu minéral dépourvu d'azote.

A notre avis, malgré les difficultés techniques que l'on peut prévoir, l'action de la colchicine ou d'autres poisons mitotiques devrait être étudiée dans un but agronomique pratique, en vases de végétation d'abord, puis, le cas échéant, en pleine terre.

Les difficultés sont ici très grandes et résident notamment dans la détermination exacte de la quantité de composé supportée par la plante pour qu'elle ne puisse en souffrir.

Comment et quand traiter? Le composé utilisé ne va-t-il pas être immédiatement dégradé dans le sol par les activités microbiennes ? Pourra-t-il subsister suffisamment que pour influencer la réceptivité de la plante?

Bref, toute une série de questions se posent, dont l'intérêt ne peut être sous-estimé.

*Travail effectué avec l'aide du Centre National pour l'étude de la croissance normale et pathologiques et de la « Rockefeller Foundation ».*

## BIBLIOGRAPHIE

(1) WIPF, Louise and COOPER, D. C., 1938. Proc. Nat. Acad. Sci. 24 : 87-91.
(2) WIPF, Louise, 1939. The Botanical Gazette. Vol. 101, n° 1, 51-67.
(3) WHITAKER, T. W., 1934. Journal Arnold Arb., 15: 144-153.
(4) WULFF, H. D., 1937. Planta, 26 : 275-290.
(5) BRESLAWETZ, L., 1926. Ber. Deutsch. Bot. Ges., 44 : 498-502.
(6) STERZL, J., 1949. Nature, t. 163, p. 28.
(7) ROBINOW, C. F., 1945. Addendum to Dubos, R. J., The Bacterial Cell, Cambridge, Mass. Harvard University Press.
(8) WALKER, A. W. and YOUMANS G. P., 1940. Proc. Soc. Exptl. Biol. Med., 44 : 271-273.
(9) WRIGHT, W. H., 1925. Soil Science, 20 : 95-120.
(10) NICOL, H. and THORNTON, H. G., 1941. Proc. of the Royal Soc. London, Series B, n° 858, vol. 130 : 32-59.

CHAIRE DE ZOOLOGIE DE L'INSTITUT AGRONOMIQUE
DE L'ETAT A GEMBLOUX

# *Neodiprion sertifer* GEOFFR. : l'œuf et le végétal (*)

par

R. BRENY.

*Neodiprion sertifer* GEOFFR. se différencie des autres Diprionides par une hibernation au stade œuf. C'est sous cette forme que l'insecte résiste aux rigueurs de l'hiver, dans des pays très différents par leur large répartition en lattitude.

C'est en septembre-octobre que les pondeuses déposent dans les aiguilles des œufs non protégés par une sécrétion et placés en séries linéaires dans des alvéoles creusées dans la parenchyme foliaire. Les encoches de ponte sont établies aux angles des aiguilles; immédiatement après le travail préliminaire de creusement, l'œuf est expulsé, glissant le long de la tarrière pour être convenablement couché sur le fond de la cavité par le jeu des pièces génitales. Les lèvres de la plaie se rejoignent ensuite, emprisonnant l'œuf puis sont collées par une sécrétion de la femelle et par de la résine. L'œuf est donc solidement enfermé dans une loge aux bords parfaitement scellés. Ainsi placé et protégé, il se trouve dans un milieu bien particulier; il n'est pas en contact avec l'atmosphère; la température et l'humidité de l'air ne peuvent donc l'impressionner directement. Cette situation durera pendant toute la période hivernale; mais au printemps, en se dilatant, l'œuf fera éclater sa loge et apparaîtra plus ou moins nettement au dehors, faisant alors hernie en surface de l'aiguille, exposé alors partiellement mais directement aux conditions extérieures.

Il y a très longtemps déjà, les entomologistes avaient constaté une relation entre l'œuf et la plante hôte. En 1947, dans le chapitre « Reproduction » de l'Introduction à son livre sur les Hyménoptères tenthrédoïdes,

(*) Déposé à la rédaction le 20 octobre 1954.

Berland (1) disait : « L'œuf présente dans de nombreux cas la particularité d'augmenter considérablement de taille après la ponte, de telle sorte qu'il peut devenir double de ce qu'il était à l'origine, ce qui se produit grâce à l'élasticité du chorion et sans doute par osmose des liquides provenant de la plante hôte, peut-être aussi par le liquide émis par la mère au moment de la ponte. L'alvéole où il est inclus s'agrandit en même temps et proportionnellement. Il y a action réciproque entre l'œuf et la plante; si celle-ci est coupée et qu'on la laisse se dessécher, on constate que l'œuf ne se développe pas; par contre, il se développe si, ayant comme support une feuille coupée, on plonge le pétiole de cette dernière dans de l'eau. »

Si les constatations de Berland s'appliquent au tenthrédoïdes en général, elles en voient certes une application à *Neodiprion sertifer* Geoffr. du moins en période d'activité printanière. En 1945, Schönwiese (4) écrivait au sujet du lophyre roux : « La température de la substance même de l'aiguille ainsi que l'humidité absolue du substat — dépendant elles-mêmes des facteurs externes — ont une importance capitale pour le gonflement ultérieur de l'œuf. C'est au moment de la montée printanière de la sève, ajoute encore l'auteur, que les œufs deviennent turgescents et visibles en dehors de la fente faite dans le bord de l'aiguille. »

Quiconque a étudié les Diprionides et a tenté d'obtenir des éclosions en laboratoire a pu en effet, constater la grande difficulté parfois d'obtenir des jeunes larves au départ de rameaux contaminés; un dessèchement quelquefois non apparent fait aboutir à l'insuccès : les œufs n'éclosent pas.

D'autre part, il est certain que l'œuf se trouve dans un « climat » bien spécial dont les variations thermiques sont plus marquées — surtout dans la nature — que celles du milieu ambiant.

En réalité, l'œuf de *Neodiprion sertifer* Geoffr. par sa localisation au sein du parenchyme foliaire est grandement dépendant du végétal qui le recèle. Son évolution est fortement liée à celle de l'aiguille.

Une aiguille porteuse d'œufs continue à participer réellement à la vie du végétal qui la supporte; quoique une pondeuse creuse habituellement 7, 8 ou 9 encoches par feuille, la partie du système vasculaire foliaire située en dehors de la zone blessée par la ponte fonctionne normalement.

Brygider (3) précisait en 1952 la position de l'œuf de *Neodiprion sertifer* Geoffr. au sein même du parenchyme foliaire d'une aiguille de pin à deux feuilles. L'auteur, par une coupe transversale d'une aiguille contaminée, montre que l'œuf s'appuie au fond de l'alvéole, sur le cylindre central; celui-ci n'est que légèrement entamé par les scies de la pondeuse dans ses zones endodermiques et parenchymateuses non chlorophylliennes, les faisceaux libéro-ligneux centraux sont parfaitement respectés. Les canaux résinifères situés dans l'angle foliaire porteur d'œufs ont certes été sectionnés au niveau de chaque œuf mais ceux répartis sur les

faces planes et arrondies de l'aiguille n'ont pas été atteints; ceux-ci ainsi que les faisceaux libero-ligneux sont essentiellement responsables du parfait maintien de l'activité végétative de la feuille parasitée.

Cette activité végétative est encore prouvée par le fait qu'à l'époque printanière de l'éclosion, les jeunes chenilles nouvellement nées, rongent souvent les aiguilles sur lesquelles elles sont nées: elles les squelettisent respectant — comme d'ailleurs pendant tout le premier âge — la nervure centrale (cylindre central) et les zones mortifiées qui entourent les alvéoles; les tissus rongés apparaîssent dès lors d'une valeur alimentaire semblable aux feuilles non contaminées voisines, c'est-à-dire parfaitement vivantes et saines. On ne constate d'ailleurs aucune variation du développement larvaire entre des individus alimentés avec des feuilles porteuses d'œufs et ceux nourris à l'aide de feuilles intactes.

Habituellement, une femelle pond ses œufs en une seule fois, sur une même pousse et à l'extrémité de celle-ci; elle dépose donc presque toujours ses œufs sur des aiguilles de l'année, c'est-à-dire sur des éléments très actifs physiologiquement, à parenchyme abondant, autrement dit en des endroits rapidement impressionnés par le réveil végétatif printanier.

L'œuf de *Neodiprion sertifer* Geoffr. s'incorpore donc non seulement au végétal lui-même mais encore se situe en des endroits où il subira l'action directe et aussi hâtive que possible de la reprise printanière de l'activité de la plante.

Sous l'effet de son gonflement vernal, le faisant apparaître en dehors de sa loge, l'œuf participera de moins en moins directement à partir de cette époque — quoique y restant toujours plus ou moins fortement soumis — aux influences diverses du végétal; il subira dès lors en cette phase d'activité embryonnaire intense, l'action plus directe des facteurs extérieurs et tout spécialement de la température.

L'entrée en végétation d'une plante est sous la dépendance de divers agents impressionnant le sol et l'atmosphère; l'œuf de *Neodiprion sertifer* Geoffr., du fait de sa localisation, en dépend aussi comme nous l'avons dit. La température, entre autre, domine les diverses fonctions du végétal et retentit sur son développement; elle impressionne donc indirectement l'œuf dans sa phase de croissance volumétrique; dès l'éclatement de l'alvéole de ponte, elle agit de plus en plus directement sur l'organisme animal, le faisant participer à deux milieux, d'une part la plante, d'autre part l'atmosphère; dès lors, les actions réciproques sont multiples et ne doivent pas être négligées dans une interprétation exacte des phénomènes de croissance de l'embryon.

Nous plaçant maintenant à un point de vue essentiellement pratique, il semble logique à la suite des considérations émises ci-dessus, de préciser l'époque des apparitions larvaires par des caractères phénologiques se rapportant aux pins et aussi, pour une diagnose commode, à d'autres plantes du milieu; ces caractères seront d'ailleurs plus significatifs et plus facilement observables que des données thermiques par exemple. L'hom-

me responsable de l'état sanitaire d'une forêt doit défier tout fléau entomologique comme celui que constituent les multiplications massives de lophyre; celles-ci peuvent, on le sait, amoindrir fortement la production ligneuse des peuplements et spécialement celle des pins.

Dans une relation précédente, (2) nous suggérions une prognose basée sur l'observation des pousses squelettisées et roussies par les larves de premier âge; le dénombrement des pousses atteintes permet d'obtenir une valeur très exacte et certaine de l'importance numérique de la population larvaire estivale future.

Connaissant les caractères phénologiques annonciateurs de l'époque d'éclosion des œufs, la détection des premiers dégâts entomologiques en sera d'autant plus certaine et efficace: l'attention du forestier pourra être ainsi attirée en temps opportun pour des interventions éventuelles de protection convenable des pineraies.

Nous présenterons ci-dessous quelques dates d'éclosion notées au cours de certaines années; nous caractériserons ensuite le stade de développement des bourgeons de quelques plantes des environs immédiats à de petites parcelles peuplées de jeunes pins contaminés par le lophyre et où ont été faites nos observations.

## Les apparitions larvaires

Des observations ont été faites avec grande précision à La Hulpe; nous pouvions faire en cette localité des visites journalières et y avions planté des pins sylvestres ayant alors de 50 à 60 cm de hauteur moyenne, installés en sol sablonneux, abrités au nord et à l'est par des noisetiers et peupliers de quatre mètres de haut. environ. Nous possédons également des données exactes pour Ohain (situé à 4 km au S, S-E de La Hulpe) (*) pour des pontes établies sur des pins de 1-1,50 m de hauteur mais situés en sol lourd et découvert. Enfin, des pins situés à Gembloux, en pépinières et de cinq ans d'âge nous ont fourni des dates d'éclosion pour 1950 et 1954. D'autre part, nous avons reçu quelques renseignements pour la région spadoise; ils se rapportent donc à la Haute Belgique et il s'agissait de peuplements installés dans des régions de plateaux ou sur des versants différemment orientés (*).

(*) Nous tenons à remercier ici Messieurs Glibert (observateur à la station climatologique d'Ohain) et Mathonet (garde forestier) qui nous ont fourni si aimablement les résultats de leurs observations.

| Années | LA HULPE | | OHAIN | | GEMBLOUX | | SPA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Premières apparitions | Apparitions massives | Premières apparitions | Apparitions massives | Premières apparitions | Apparitions massives | |
| 1950 | 14-IV | 16-20-IV | 13-IV | 15-IV | 13-IV | 14-16-IV | Rohaimont (Exposition S) 40 % éclosions le 30-V.<br>Rohaimont (Exposition N) 10 % éclosions le 30-V. |
| 1951 | 24-IV | 25-28-IV | — | — | — | — | Le 5-6-V : on constate des larves dans la plupart des pineraies infestées (localisations non spécifiées par l'observateur). |
| 1952 | 13-IV | 14-16-IV | 13-IV | 14-15-IV | — | — | Staneux (Exp. N-W) début des éclosions le 20-IV.<br>Rohaimont (Exp. S-W) début des éclosions le 16-IV.<br>Rohaimont (fond de la vallée) début des éclosions le 24-IV. |
| 1953 | 22-IV | 23-27-IV | — | — | — | — | |
| 1954 | 14-IV | 19-26-IV | — | — | 25-IV | 30-IV au 4-V | |

L'examen du tableau ci-dessus semble bien établir des variations relativement faibles dans les dates d'apparition des jeunes larves: celles-ci se produisent, pour les situations peu différentes de La Hulpe et de Ohain, dans la deuxième quinzaine d'avril. Les écarts constatés entre les dates des premières apparitions et des apparitions massives se justifient par le climat du mois d'avril. En 1953, par exemple, la période d'éclosion est caractérisée par un temps particulièrement beau qui a précipité les éclosions en quelques jours seulement: c'est ainsi qu'il n'existait aucune éclosion le 21 et que le 24, le nombre des jeunes larves équivalait aux deux tiers du total des œufs existants; cette proportion avait donc été atteinte en l'espace de trois jours seulement. Au contraire, en 1954, les bulletins météorologiques d'Uccle signalent pour avril qu'il faut remonter jusqu'en 1941 pour retrouver des températures aussi basses; par contre, rapporte le même bulletin, les durées d'insolation ont été élevées voir même anormalement élevées. C'est surtout le degré thermique peu élevé de l'atmosphère, partiellement perturbé par une insolation élevée d'action directe sur les œufs faisant à ce moment hernie en dehors de l'aiguille, qui justifie l'écart relativement marqué entre les dates des premières apparitions et celles des apparitions massives constatées en 1954.

A Gembloux, et chaque année, les apparitions sont plus tardives qu'à La Hulpe et Ohain; elles traduisent le climat reconnu plus excessif de cette localité: les stations d'Ohain et de La Hulpe sont en effet abritées du nord par la Forêt de Soignes.

Quant à la région spadoise, les dates sont plus variables; les écarts s'accentuent d'ailleurs encore par la situation des peuplements suivant que ceux-ci sont installés sur des plateaux ou des versants exposés différemment; on a constaté des variations de trois semaines et même un mois pour une même localisation mais pour des pentes exposées soit au nord soit au sud. L'état de végétation des pins y traduit aussi des microclimats bien différents; l'orientation est donc très significative. La situation en Haute Belgique de la région de Spa (alt. : ± 350 m) justifie d'ailleurs déjà un climat à extrêmes thermiques plus marqués qu'en Moyenne Belgique où se situent Gembloux, La Hulpe et Ohain. Dans ces localités, respectivement à altitude voisine de 150, 100 et 100 m, les apparitions larvaires se produisent en général au cours de trois semaines ou un mois groupant les quinze derniers jours du mois d'avril et la première décade du mois de mai.

## Caractères phénologiques

C'est en avril-mai que chez nous, on assiste à l'élongation des bourgeons et pour certains végétaux à l'épanouissement des jeunes feuilles.

Les caractères phénologiques que nous rapportons ici sont ceux notés en 1954 à La Hulpe et Gembloux: ils justifient les époques des apparitions larvaires dans ces deux localités.

## A. — DEBUT DES ECLOSIONS

*(valables pour La Hulpe uniquement : 14 avril 1954).*

1) Pins sylvestres de 50-60 cm de hauteur : Longueur du bourgeon central terminal de la tige principale : 20-22 mm (élongation : 10-12 mm).

2) Epiceas de un an de repiquage : Bourgeons latéraux laissant à peine apercevoir une zone terminale centrale vert clair; diamètre des bourgeons : 2-3 mm.

3) Peupliers « Robusta » de 4 m de hauteur : Stade « oreille de souris »; longueur totale du bourgeon : ± 2 cm.

4) Noisetiers de 3-5-4 m de hauteur : Longueur totale du bourgeon, de la base à l'extrémité des feuilles en déroulement : 3-3,5 cm.

a) Stade d'hibernation de bourgeons de : pin sylvestre, épicéa commun, mélèze, peuplier « Robusta » et noisetier (prélèvement fait au 15 octobre).

b) Stade de développement de bourgeons des mêmes essences en date du 15 avril 1954 à La Hulpe (début des éclosions).

B. — FIN DES ECLOSIONS

*(valables pour La Hulpe : 2 mai 1954 et Gembloux : 4 mai 1954).*

1) Pins sylvestres de 50-60 cm de hauteur : Longueur du bourgeon central terminal de la tige principale :
La Hulpe : 4,5 cm (élongation : ± 3 cm).
Gembloux : 4,5-5 cm (élongation : ± 3 cm).

2) Pins sylvestres de 1,5 m de hauteur : Longueur du bourgeon central terminal de la tige principale :
La Hulpe : 7-8 cm (élongation : 5-6 cm).
Gembloux : 6-8 cm (élongation : 5-6 cm).

3) Epiceas de un an de repiquage : Longueur des bourgeons latéraux et diamètre de la « rosette » de jeunes feuilles :
La Hulpe : 8-11 mm — 8-9 mm (épanouissement nettement visible et caractérisé de la « rosette » foliaire au sommet de la tige principale).
Gembloux : 5-6 mm — 6-7 mm (début de l'épanouissement de la « rosette » foliaire au sommet de la tige principale).

4) Mélèzes d'Europe de 1,5 m de hauteur.
Gembloux : Rosettes foliaires déjà fortement épanouies dont les feuilles atteignent au maximum 16 à 18 mm de longueur.

5) Peupliers « Robusta » de ± 4 m de hauteur : Longueur de la jeune pousse de sa base à l'extrémité des jeunes feuilles :
La Hulpe : 4,5-5 cm.
Gembloux : 3,5-4 cm.

6) Noisetiers de 3,5-4 m de hauteur : Longueur de la jeune pousse, de la base à l'extrémité des jeunes feuilles. Longueur de la feuille la plus développée du bourgeon :
La Hulpe : 5-6 cm — 4,5-5 cm.

Parmi les arbres et arbustes forestiers, les pins, les épiceas, les mélèzes, les noisetiers et ajoutons aussi les peupliers peuvent par leurs manifestations de début de croissance, nous « *avertir* » de l'approche des apparitions larvaires de *Neodiprion sertifer* GEOFFR. Il nous semble possible de dire que l'attention du forestier doit être en éveil dès que :

1) Les jeunes pins sylvestres ont des bourgeons centraux terminaux de 2 à 3 cm de longueur.

2) Les bourgeons latéraux des jeunes épiceas montrent le début de leurs « rosettes » foliaires.

3) Les mélèzes ont déployé leurs rosettes foliaires et que les aiguilles ont environ un cm de longueur.

4) Les peupliers « Robusta » ont des bourgeons ayant atteint le stade « oreilles de souris ».

Disons encore pour terminer, que l'Institut royal météorologique de Belgique signale que les floraisons normales (moyennes de la période de 1896 à 1940), à Uccle du Prunellier épineux (*Prunus spinosa*), du Charme commun (*Carpinus betulus*) et du Cerisier à grappes (*Prunus padus*) se produisent respectivement le 11 avril, le 18 avril et le 19 avril.; en 1953 par exemple, ces floraisons ont été enregistrées les 13, 7 et 17 avril. Puisque Uccle est situé non loin de La Hulpe et d'Ohain, il est permis de considérer aussi ces espèces végétales comme significative par leur période de floraison.

## BIBLIOGRAPHIE

1. BERLAND, L. — Faune de France, 47. Hyménoptères tenthrédinides. Paris 1947.

2. BRENY, R. et DETROUX, L. — Considérations sur la biologie et la nuisance de *Neodiprion sertifer* GEOFFR. et rapport sur les traitements effectués en 1949 dans les pineraies de la région de Spa. Parasitica, 1950. T. VI, n°4.

3. BRYGIDER, W. — In what embryonic stage do the eggs of Neodiprion enter the winter diapause ? Can Jl. of Zool. Vol. 30, n° 2, avril 1952.

4. SCHONWIESE, F. — Beobachtungen und Versuche anlaslich einer Uberwinterung von *Lophyrus sertifer* GEOFFR. (rufus) in Südkärnten in den Jahren. Z. f. ang. Ent. 21, 1935.

## SAMENVATTING

### *Neodiprion sertifer* Geoffr. :

### HET EI EN DE PLANT

door R. BRENY.

*Neodiprion sertifer* GEOFFR. overwintert in het eistadium. De eieren worden afgezet in kleine ruimten door de wijfjes in het parenchyme van de pijnnaalden geboord. Er bestaat een nauwe verhouding tussen het ei en de naald. Deze laatste moet goed levend blijven om de ontwikkeling van het ei mogelijk te maken. De schrijver bewijst de goede plaatsing van het ei, om de meeste vernutigingsfactoren uit te schakelen.

Ten slotte, geeft de schrijver nog enkele phenologische kenmerken, welke het tijdstip van het te voorschijn treden van de larven aanduiden.

D. B.

## SUMMARY

### *Neodiprion sertifer* Geoffr. :

### THE EGG AND THE PLANT

by R. BRENY.

*Neodiprion sertifer* GEOFFR. passes the winter in the egg; the eggs are laid in pockets made in the pine needles by females. There is such a very close association between the needle and the egg that the former must remain alive if the egg is to complete its development. The author proves that this is the best position of the egg on the pine to save it from abiotic destruction.

In the next place, the author gives a few phenological charactéristics proper to fix the time of the hatching.

G. C.

## ZUSAMMENFASSUNG

### *Neodiprion sertifer* GEOFFR. :

### EI UND PFLANZE

von R. BRENY.

*Neodiprion sertifer* GEOFFR. verbringt den Winter im Eistadium. Die Eier werden in die von den Weibchen in das Parenchyme der Kiefernadeln gebohrten Höhlungen gelegt.

Er besteht eine enge Beziehung zwischen der Nadel und dem Ei; die Nadel muss vollständig am Leben bleiben, damit das Ei seine Entwicklung fortsetzen kann. Der Autor beweist die günstige Lage des Eis auf den Kiefern, damit diese einer eventuellen Vernichtung entgehen. Der Autor schildert schliesslich einige phänologische Eigenschaften, die die Periode des Auftretens von Larven anzeigen.

J. M. H.

ECOLOGIE VEGETALE

# Quelques données sur l'évaporation et les déficits en eau en Belgique (*)

par

J. CALEMBERT.

## Sommaire

L'évaporation moyenne pendant une période de 5 ans a été calculée pour 7 stations météorologiques belges et luxembourgeoises, selon la méthode du bilan d'énergie (méthode de Penman). Celle-ci est brièvement exposée.

Les résultats indiquent une faible variabilité annuelle et peu de différences entre les stations. L'évaporation annuelle d'une nappe d'eau libre s'élève à environ 750 mm en Basse et Moyenne Belgique, à 650 mm en Haute Belgique.

La comparaison avec la pluviosité fait apparaître des déficits fréquents et importants en Basse et Moyenne Belgique (de 50 à 80 mm pour les 3 mois de végétation de mai à juillet).

La pluviosité moyenne dépasse l'évaporation en Haute Belgique pour presque tous les mois de l'année, et les déficits sont rares. Les fréquences d'occurrence d'un déficit ont été calculées pour Uccle sur une période de 50 ans.

La méthode de Thornthwaite a également été appliquée. Les résultats obtenus sont systématiquement supérieurs aux précédents pour les mois de septembre à novembre et inférieurs pour les mois de mars à mai. Les indices de Lang, de De Martonne ou d'Emberger se révèlent insuffisants ou erronés pour caractériser les types de climat de notre pays.

(*) Déposé à la rédaction le 3 novembre 1954.

# I. — INTRODUCTION

Les données relatives à la pluviosité sont nombreuses en Belgique et permettent le tracé d'isohyètes (19, 20, 21, 30). Mais du point de vue écologique, les précipitations doivent être confrontées avec le phénomène inverse d'évaporation. A part quelques tentatives d'estimer l'importance de cette dernière dans les Hautes Fagnes (28), il n'existe pas de travaux fournissant des valeurs sûres pour les pays. Le but de ce travail est d'apporter une nouvelle contribution à ce problème.

## 1. — Evaporation et évapotranspiration potentielles

On sait que l'atmosphère exerce sur les surfaces en contact avec elle une sollicitation à l'évaporation qui dépend du déficit de l'air en vapeur d'eau et des autres facteurs qui agissent sur sa vitesse de transmission : la température et l'agitation de l'air (vent au sol, turbulence). Le pouvoir évaporant de l'atmosphère ne peut toutefois se mesurer que par l'effet qu'il exerce sur une surface de référence, soit donc en termes d'évaporation.

On appelle *évaporation potentielle* (THORNTHWAITE, 27) la quantité d'eau évaporée par une nappe d'eau libre, pour des conditions climatiques déterminées, c'est-à-dire pour le pouvoir évaporant qui leur correspond. L'évaporation potentielle est donc une *grandeur climatique;* on peut l'exprimer en mm d'eau et la rapporter, en conséquence, aux précipitations.

On appelle *évapotranspiration potentielle* (THORNTHWAITE, 27) la quantité d'eau évaporée par une végétation bien pourvue en eau et par le sol qu'elle recouvre, dans les mêmes conditions climatiques. Elle est égale à l'évaporation potentielle multipliée par un facteur propre à la végétation et inférieur à 1. L'évapotranspiration potentielle est une *grandeur écoclimatique.*

Ces notions permettent le calcul de la différence (P — E) pour une période climatique quelconque; celle-ci sera sèche ou humide, dans la mesure où elle comporte un déficit ou un excès des pluies (P) sur l'évaporation ou l'évapotranspiration potentielles (E).

La *sécheresse climatique*, qui correspond au déficit de pluies, implique un assèchement plus ou moins prononcé des sols et impose de ce fait des restrictions au ravitaillement en eau des plantes. C'est au pédologue à rechercher l'incidence des sécheresses climatiques sur la tension d'humidité dans les divers sols, compte tenu de leurs propriétés particulières, (*sécheresse édaphique*) et c'est à l'écologiste d'apprécier enfin l'action combinée de ces deux facteurs sur la croissance et le développement des plantes et des cultures (*sécheresse écologique*). Le praticien pourra, à son tour, appliquer par irrigation les quantités d'eau manquantes pour maintenir une production économiquement optimum.

Quant aux différences (P — E) positives, qui expriment donc un excès de pluie, elles contribueront au lessivage des horizons supérieurs du sol et aux modifications physico-chimiques qui en découlent (migrations d'ions et de particules fines, etc.).

### 2. — Evaporation et évapotranspiration actuelles

On appelle *évaporation et évapotranspiration actuelles*, celles qui ont effectivement lieu au niveau d'un sol nu ou couvert de végétation. Elles dépendent pour une part des mêmes facteurs qui déterminent le pouvoir évaporant de l'air et par conséquent de l'évaporation potentielle, mais elles sont limitées par la vitesse de diffusion de l'eau dans le sol, et les possibilités d'absorption de la plante. Lorsque la transpiration atteint une valeur critique, la régulation stomatique intervient pour limiter la consommation d'eau. La fermeture partielle ou totale des stomates fait obstacle aux échanges gazeux et déprime l'assimilation chlorophyllienne. Aussi existe-t-il forcément une certaine relation de concommittance entre l'eau transpirée par la plante et la matière sèche élaborée; le *coefficient de transpiration* ou quantité d'eau consommée par kg de matière sèche produite, correspond donc à une réalité écologique et dépend essentiellement des circonstances climatiques qui influencent l'évapotranspiration, mais il n'existe aucun lien corrélatif entre les deux phénomènes, et le coefficient de transpiration est dépourvu de toute signification physiologique.

## II. — METHODES DE DETERMINATION DE L'EVAPORATION*

Il existe des méthodes directes basées sur l'emploi de dispositifs ou d'appareils de mesure, et des méthodes indirectes qui font usage de formules élaborées à partir d'éléments plus ou moins facilement mesurables.

### A. — Méthodes directes

1. *Les évaporomètres* sont des appareils de petite dimension qui mesurent le poids ou le volume d'eau évaporée par un petit récipient (balance évaporimétrique de Mitscherlich) ou par un corps poreux (évaporomètre de Livingstone, évaporomètre de Piche).

D'un emploi très facile, ces appareils ne fournisssent malheureusement pas de résultats valables pour le calcul du bilan (P — E). Les conditions d'évaporation inhérentes à chaque appareil en sont la cause. Ils rendent cependant des services en écologie lorsqu'il s'agit de comparer l'allure et l'importance relatives de l'évaporation d'une station ou d'un microclimat à l'autre.

2. Les grands *bassins évaporométriques*, munis d'un bon indicateur de niveau, et *l'évapotranspiromètre de* Thornthwaite constituent les seuls dispositifs qui permettent une mesure exacte de l'évaporation potentielle d'une nappe d'eau libre ou d'une végétation.

(*) Nous n'utiliserons désormais que le terme « évaporation », en précisant toutefois s'il s'agit d'une nappe d'eau libre ou d'une végétation bien pourvue d'eau.

L'évapotranspiromètre de THORNTHWAITE est une cuve de terre gazonnée, enfoncée en terre à raz du sol. Une nappe d'eau y est maintenue à une distance telle de la surface qu'elle soit constamment accessible aux racines. Les quantités d'eau ajoutées pour maintenir le niveau mesurent l'évapotranspiration potentielle.

Ces dispositifs sont malheureusement coûteux et ne peuvent être multipliés sans requérir un nombreux personnel d'observation. Ils servent principalement à contrôler et vérifier les méthodes indirectes.

3. Les méthodes que nous venons de passer en revue servent à déterminer l'évaporation potentielle. L'évaporation actuelle peut être mesurée par des *lysimètres* qui donnent par différence entre la pluviosité et le drainage, l'évaporation réelle subie par le sol et la végétation qu'il porte, pendant la période d'observation.

L'évaporation actuelle d'un sol en place peut aussi se calculer en mesurant les pertes et les gains d'humidité de ce sol aux différentes profondeurs (FOCAN et FRIPIAT) (5) ; la connaissance du coefficient de diffusion capillaire pour différentes tensions d'humidité simplifie considérablement les mesures (HALLAIRE, 7).

## B. — Méthodes indirectes

1. La plus ancienne formule est celle de DALTON

$$E = (e_s - e_d)\ f\ (u)$$

dans laquelle E représente l'évaporation, $e_s$ la tension de vapeur à la surface évaporante, $e_d$ la tension de vapeur dans l'atmosphère et (u) une fonction de la composante horizontale de la vitesse du vent.

Beaucoup d'équations ont été dérivées de celle de Dalton, mais elles présentent toutes l'inconvénient d'inclure le terme $e_s$ dont la mesure est difficile en climatologie, tant pour les surfaces d'eau que pour les végétations.

Nous retiendrons cependant l'équation de ROHWER qui intervient dans la formule de PENMAN

$$E = 0.35\ (1 + 0.526\ U_2)\ (e_s - e_d)$$

E étant donné en mm et $U_2$ représentant la vitesse du vent à 2 m du sol en mètres par seconde.

2. Plus récemment on a tenté d'établir des formules d'évaporation basées sur la mesure du flux de vapeur transmis de la surface évaporante vers l'atmosphère.

Ce transfert s'effectue de deux manières :

a) par simple diffusion à travers la couche d'air laminaire au contact de la surface évaporante (boundary layer) ;

b) par turbulence au-dessus de cette couche.

La formule de LEIGHLY, (8) modifiée par MARTIN, exprime la quantité d'eau diffusant à travers la « boundary layer ».

$$E = c\ k\ (e_s - e_d)\ l^{-0.2}\ L^{-0.3}\ u^{0.5}$$

E : vitesse d'évaporation.
c : constante.
k : coefficient de diffusion.
$e_s$ : tension de vapeur à la surface évaporante.
$e_d$ : tension de vapeur à la limite de la « bounday layer ».
u : vitesse du vent en cm/sec.
l et L : dimensions de la surface évaporante.

Cette formule est pratiquement inapplicable car elle nécessite la mesur de $e_s$ et celle de $e_d$ dans une couche laminaire qui n'atteint que quelques mm d'épaisseur.

La formule de THORNTHWAITE et HOLZMANN (26) échappe à ces inconvénients en ne considérant le transfert de vapeur qu'à travers la couche turbulente. Cette formule, très prometteuse, mais dont la vérification expérimentale s'impose encore, est inspirée des travaux des aérodynamiciens tels que PRANDL, VON KARMAN, SVERDRUP et d'autres.

$$E = \frac{d\ k^2\ (q_1 - q_2)\ (u_2 - u_1)}{(\ln\ z_2 / z_1)^2}$$

E : évaporation en g $cm^{-2}$ $s^{-1}$.
$q_1$ et $q_2$, $u_1$ et $u_2$ : humidité spécifique et vitesse du vent aux hauteurs $z_1$ et $z_2$.
d : densité de l'air.
k : constante de VON KARMAN (0.4).

Cette formule a été reprise et simplifiée par PASQUILL (12).

3. Bien que ces diverses formules ouvrent des perspectives intéressantes, elles ne sont guère utilisables en pratique, pour les diverses raisons que nous avons rencontrées. De là découle l'intérêt des formules purement empiriques qui s'efforcent d'établir une relation satisfaisante entre les résultats acquis par les méthodes directes et certaines caractéristiques du climat aisément mesurables. Nous devons à THORNTHWAITE un essai de ce genre, basé sur les données des évapotranspiromètres gazonnés: l'auteur a choisi comme élément de référence les températures moyennes mensuelles.

L'équation de THORNTHWAITE a la forme suivante :

$$E = c\ t^a$$

E : évapotranspiration potentielle mensuelle en cm.
t : température moyenne mensuelle en degrés C.
c et a : coefficients variant d'une région à l'autre selon les fluctuations de la température mensuelle au cours de l'année.

La recherche d'un index mensuel $i = (t/5)^{1.514}$ et d'un index annuel $I = \Sigma i$ permet de calculer a et c.

L'évaporation obtenue doit être corrigée à l'aide de tables pour tenir compte du nombre de jour du mois et de la longueur de l'éclairement journalier. L'utilisation des nomogrammes établis par l'auteur simplifie grandement les calculs.

L'auteur lui-même trouve sa formule dépourvue d'élégance mathématique. Elle a cependant le mérite d'être simple et de n'exiger que la connaissance de la température moyenne mensuelle. Elle est d'ailleurs d'un usage fréquent dans l'estimation des besoins en eau d'irrigation, principalement dans les pays neufs, où l'on dispose de peu de données climatiques.

4. Une dernière méthode, celle de PENMAN (13) est basée sur le principe de la conservation de l'énergie. La quantité d'eau évaporée peut être calculée en recherchant la quantité d'énergie utilisée pour cette évaporation. La chaleur latente de vaporisation étant de 590 cal g par $cm^3$, il faut donc 59 cal g par $cm^2$ pour évaporer une lame d'eau de 1 mm d'épaisseur. La formule de Penman, que nous avons appliquée, est issue de ce raisonnement. Nous allons la commenter un peu plus longuement.

## III. — LA FORMULE DE PENMAN

La méthode de Penman semble être à l'heure actuelle, le moyen le plus rationnel de calculer l'évaporation potentielle au départ des données climatiques courantes. La formule a été vérifiée en Grande-Bretagne: des raisons matérielles nous ont empêché de le faire pour la Belgique. En dehors de la Grande-Bretagne et de certains Dominions, la formule de PENMAN a été appliquée au Congo Belge par BERNARD (5) et en Hollande (24). Pour des détails plus complets, nous renvoyons aux travaux originaux de PENMAN.

Nous avons déjà dit que le calcul de l'évaporation exige de connaître la quantité de chaleur consommée par le phénomène. Pour l'établir, PENMAN est parti des travaux de CUMMINGS et RICHARSON (4).

### 1 — Etablissement du bilan calorifique (Heat budget)

Soit R la radiation solaire globale au sol, exprimée en cal g $cm^{-2}$ $jour^{-1}$.

— une partie rR de cette énergie réfléchie par la surface réceptrice proportionnellement à son albedo r. L'albedo, rapport de l'énergie réfléchie à l'énergie incidente, varie avec la nature de la surface (gazon 0.25, eau 0.05).

— une partie infime (1 %) de l'énergie est utilisée pour la photosynthèse lorsque le sol est couvert d'une végétation : pR.

— le reste, enfin, est réellement absorbé par la surface réceptrice, soit $R_i$.

On a : $R = rR + pR + R_i$ (1).

La quantité pR est négligeable, on peut écrire :

$$R_i = R\ (1—r) \qquad (2)$$

*Calcul du bilan calorique H.*

Une part de l'énergie $R_i$ est réémise par rayonnement secondaire (Rb). On est en droit d'assimiler la surface rayonnante à un corps noir et lui appliquer la loi de STEFAN (la radiation secondaire est égale à la quatrième puissance de la température multipliée par la constante de STEFAN $\sigma = 8.26\ 10^{-11}$ cal g cm$^2$ min). On prendra ici pour valeur de T, la température moyenne de l'air.

Mais il faut également tenir compte de la contre-radiation du ciel couvert et de l'effet de la vapeur d'eau de l'atmosphère. Pour calculer $R_b$, PENMAN a choisi la formule empirique de BRUNT :

$$R_b = \sigma\ T^4\ (0.56 — 0.092\ \sqrt{e})\ (0{,}10 + 0.90\ I) \qquad (3)$$

avec e : tension moyenne de vapeur d'eau en mm Hg.
I : n/N, insolation relative.

La différence $R_i — R_b = H$ (4), nous donne la quantité de calories réelement absorbées au sol. Il nous reste à analyser ce que deviennent ces calories.

*Utilisation du bilan calorique H.*

Une partie V, que l'on recherche, sert à évaporer l'eau.

Une partie K, contribue à échauffer l'atmosphère.

Une partie S réchauffera le sol (ou l'eau s'il s'agit d'une masse d'eau) d'où la relation : $H = V + K + S$.

Si l'on considère une période de temps suffisamment longue, on peut estimer que les gains et les pertes de chaleur du sol s'équilibrent et S peut dès lors être négligé.

Il reste $H = V + K$ ou $V = H — K$ (5)
avec $H = R\ (1—r) — \sigma\ T^4\ (0.56 — 0.92\ \sqrt{e})\ (0{,}10 + 0.90\ I)$

*Evaluation de K.*

Une grosse difficulté réside dans l'évaluation de K, qui exprime le transfert de chaleur dans l'atmosphère par conduction et turbulence.

Pour y échapper, Cummings et Richardson introduisent dans la formule (5), le rapport de Bowen b = K/V (6) (rapport de la chaleur perdue par conduction et turbulence à la chaleur perdue par évaporation).

(5) devient donc : $$V = \frac{H}{1 + b} \qquad (7)$$

Bowen a tenté d'exprimer b en fonction de quantités mesurables. Qu'il nous suffise de dire que, dans ce cas-ci :

$$b = a\,P\,\frac{T_s - T}{E_s - e} \qquad (8)$$

avec a : constante psychrométrique = $6.1 \times 10^{-4}$.

P : pression atmosphérique.
$T_s$ : température de la surface.
T : température de l'air.
$E_s$ : tension de vapeur à la surface.
e : tension de vapeur de l'air.

Le produit a.P n'est autre que le coefficient psychrométrique A que l'on prend en général égal à 0.05.

*Elimination de $T_s$ et de $E_s$.*

Nous avons vu que le principal souci de Penman était d'obtenir une formule où n'entrait que des données climatiques recueillies couramment par les stations météorologiques. Or la température et la tension de vapeur de surface ne sont pas des données courantes. Ce sont d'ailleurs des mesures extrêmement difficiles à réaliser. Penman est parvenu à les éliminer par un ingénieux artifice de calcul.

Les deux conditions nécessaires pour permettre une évaporation sont une source de chaleur pour la vaporisation et un mouvement de l'air pour entraîner la vapeur d'eau formée.

L'équation de l'évaporation en fonction du mouvement de l'air est de la forme :

$$V = f\,(u)\,(E_s - e) \qquad (9)$$

L'évaporation est une fonction de la vitesse du vent et de la différence de tension de vapeur entre la surface et l'air.

Posons Va = f (u) (E — e) (10) ; (E — e), désignant le déficit de saturation de l'air.

L'équation (7), compte tenu de la valeur de b (8), devient :

$$V = \frac{H}{1 + \frac{T_s - T}{E_s - e}} \qquad (11)$$

Posons $$d = \frac{E_s - E}{T_s - T} \qquad (12)$$

Si la différence $T_s - T$ est petite, comme c'est le cas ici, $d = E/T$. d est la pente de la courbe $E = f(T)$ au point T.

Multiplions (12) et (9) membre à membre :

$$\frac{T_s - T}{E_s - e} = \frac{(E_s - E)}{Vd} f(u) \qquad (13)$$

En reportant cette valeur dans (11), on a :

$$V = H - \frac{A\ (E_s - E)\ f(u)}{d} \qquad (14)$$

Soustrayons (9) et (10) membre à membre :

$$V - V_a = (E_s - E)\ f(u)$$

Remplaçons dans (14) $(E_s - E)\ f(u)$ par $V - V_a$ et nous obtenons la formule de PENMAN sous sa forme définitive :

$$V = \frac{dH + AV_a}{d + A} \qquad (15)$$

Pour $V_a = f(u)\ (E - e)$, pouvoir évaporant de l'air, la formule empirique de ROHWER s'est montrée la plus appropriée :

$$V_a = 0.35\ (1 + 0.526\ u_2)\ (E - e)$$

$u_2$ : vitesse du vent en mètres par seconde.
$E - e$ : déficit de saturation de l'air.

En résumé, pour appliquer la formule de PENMAN, il est nécessaire de connaître :

— la radiation globale en cal g $cm^{-2}$ $jour^{-1}$.
— l'insolation relative.
— la température moyenne de l'air.
— la tension moyenne de vapeur d'eau.
— l'albédo de la surface.
— la pression barométrique.
— la vitesse du vent.

## 2. — Application de la formule de PENMAN à la transpiration d'une couverture végétale

L'évaporation d'une couverture végétale bien pourvue en eau est inférieure à l'évaporation d'une surface d'eau libre, sous conditions climatiques égales, et ce, pour diverses raisons : la valeur de l'albedo, qui,

pour un tapis végétal est supérieur à celui de l'eau (0.25 pour un gazon au lieu de 0.05 pour l'eau) ; ensuite le mécanisme stomatique et la protection qu'offre la cuticule contre le déssèchement rapide.

Des comparaisons faites à Rothamsted entre l'évaporation d'une surface d'eau libre et l'évapotranspiration d'une surface gazonnée bien pourvue d'eau, montrent que le facteur de correction à appliquer à l'évaporation de la surface d'eau libre pour obtenir l'évaporation du gazon est de :

0.6 pendant les mois d'hiver : novembre, décembre, janvier et février.

0.7 pendant les mois de printemps : mars et avril et d'automne : septembre et octobre.

0.8 pendant les mois d'été : mai à août.

Il resterait à établir la valeur de ce rapport pour d'autres types de végétation que le gazon.

## IV. — APPLICATION DE LA FORMULE DE PENMAN L'EVAPORATION EN BELGIQUE AU COURS DES ANNEES 1949-1953

### A. Les stations

De nombreux postes météorologiques britanniques relèvent la durée de l'insolation au moyen de l'héliographe Campbell-Stokes. En Belgique, seules les sations d'Uccle (Institut Royal Météorologique) et de Gembloux (Station de chimie et de physique agricole) effectuent ces mesures depuis longtemps. Après la guerre, le service météorologique de la Régie des Voies Aériennes a créé de nombreuses stations fournissant toutes les données nécessaires à l'application de la formule de Penman. Grâce à l'obligeance de Monsieur Quoilin, conseiller météorologique, nous avons pu les utiliser pour le présent travail.

Nous n'avons pu toutefois retenir que les 7 stations suivantes, les seules pour lesquelles existe une période de 5 années d'observation (1949-1953).

| Localité | | lat. | long. | alt. |
|---|---|---|---|---|
| Coxyde . . . . . | aérodrome | 51°07 | 02°40 | 9 m |
| Florennes . . . . | aérodrome | 50°14 | 04°39 | 285 m |
| Gembloux . . . . | (st. chim. et phys. agr.) | 50°34 | 04°41 | 180 m |
| Luxembourg . . . | aérodrome | 49°37 | 06°13 | 379 m |
| Melsbroek . . . . | aérodrome | 50°54 | 04°30 | 35 m |
| Saint-Hubert . . . | aérodrome | 50°02 | 05°24 | 556 m |
| Uccle . . . . . | I.R.M. | 50°48 | 04°21 | 100 m |

## B. Les données

Toutes les données ont été consignées dans les tableaux suivants. Elles nécessitent quelques commentaires.

*1. — Température de l'air à 1.5 m sous abri.*

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | An |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coxyde . . . . | 5°5 | 4°4 | 5°4 | 8°6 | 11°5 | 14°3 | 16°6 | 16°6 | 14°7 | 10°4 | 6°7 | 4°1 | 9°6 |
| Florennes . . . | 1°4 | 2°5 | 4°7 | 8°7 | 11°9 | 14°8 | 16°8 | 16°3 | 13°5 | 9°2 | 4°9 | 2°0 | 8°9 |
| Gembloux . . . | 2°7 | 3°2 | 5°1 | 9°2 | 12°4 | 15°5 | 17°4 | 17°2 | 14°5 | 10°1 | 5°8 | 2°8 | 9°8 |
| Luxembourg . . | 0°6 | 1°7 | 4°7 | 8°8 | 12°4 | 15°2 | 17°4 | 16°7 | 13°5 | 8°9 | 4°1 | 0°9 | 8°7 |
| Melsbroek . . . | 3°0 | 4°2 | 5°6 | 9°8 | 13°3 | 16°2 | 18°1 | 17°6 | 14°8 | 10°2 | 6°3 | 3°8 | 10°2 |
| Saint-Hubert . . | —0°4 | 0°6 | 3°2 | 6°9 | 10°4 | 13°2 | 15°2 | 14°8 | 12°0 | 7°7 | 3°2 | 0°4 | 7°3 |
| Uccle . . . . . | 2°7 | 3°9 | 5°7 | 9°8 | 13°2 | 16°2 | 17°9 | 17°4 | 14°5 | 10°2 | 6°0 | 3°1 | 10°1 |
| *Uccle 1901-1930.* | 2°7 | 3°1 | 5°5 | 8°2 | 12°8 | 14°9 | 16°8 | 16°4 | 14°0 | 10°0 | 5°2 | 3°4 | 9°4 |

*2. — Insolation relative en %.*

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | An |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coxyde . . . . | 20 | 26 | 36 | 49 | 45 | 51 | 49 | 49 | 42 | 37 | 22 | 16 | 37 |
| Florennes . . . | 16 | 24 | 35 | 46 | 43 | 46 | 46 | 48 | 39 | 35 | 19 | 13 | 34 |
| Gembloux . . . | 17 | 26 | 32 | 42 | 42 | 46 | 45 | 49 | 37 | 36 | 20 | 14 | 34 |
| Luxembourg . . | 15 | 25 | 44 | 45 | 47 | 48 | 53 | 52 | 40 | 37 | 15 | 15 | 36 |
| Melsbroek . . . | 16 | 24 | 30 | 51 | 41 | 44 | 44 | 46 | 36 | 34 | 19 | 13 | 33 |
| Saint-Hubert . . | 15 | 23 | 35 | 42 | 42 | 42 | 46 | 46 | 36 | 36 | 18 | 16 | 34 |
| Uccle . . . . . | 26 | 33 | 42 | 54 | 49 | 52 | 54 | 54 | 48 | 48 | 52 | 24 | 42 |
| *Uccle 1901-1930.* | 20 | 28 | 32 | 53 | 46 | 39 | 40 | 44 | 42 | 33 | 22 | 14 | 34 |

*3. — Radiation en cal. g $cm^{-2}$ $jour^{-1}$.*

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | An |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coxyde . . . . | 57 | 102 | 187 | 320 | 382 | 449 | 423 | 355 | 235 | 146 | 64 | 38 | 230 |
| Florennes . . . | 47 | 94 | 184 | 308 | 372 | 425 | 408 | 359 | 222 | 142 | 59 | 35 | 220 |
| Gembloux . . . | 48 | 99 | 178 | 294 | 367 | 421 | 402 | 368 | 258 | 164 | 70 | 45 | 244 |
| Luxembourg . . | 47 | 90 | 170 | 300 | 361 | 414 | 399 | 367 | 224 | 145 | 57 | 38 | 230 |
| Melsbroek . . . | 45 | 94 | 184 | 291 | 365 | 401 | 404 | 324 | 218 | 144 | 62 | 37 | 219 |
| Saint-Hubert . . | 45 | 98 | 211 | 304 | 389 | 433 | 443 | 342 | 212 | 142 | 57 | 39 | 215 |
| Uccle . . . . . | 54 | 111 | 206 | 350 | 404 | 460 | 433 | 345 | 216 | 141 | 59 | 35 | 215 |
| *Uccle 1901-1930.* | 54 | 106 | 178 | 333 | 384 | 388 | 379 | 334 | 328 | 138 | 65 | 36 | |

*4. — Déficit de saturation. mm Hg.*

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | An |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coxyde . . . . | 0.6 | 0.9 | 1.2 | 1.9 | 2.0 | 2.3 | 2.9 | 3 0 | 2.3 | 1.4 | 0.9 | 0.7 | 1.7 |
| Florennes . . . | 0.5 | 0.8 | 1.4 | 2.5 | 2.6 | 3.2 | 3.6 | 3.1 | 2.1 | 1.3 | 0.9 | 0.5 | 1.9 |
| Gembloux . . . | 0.7 | 0 9 | 1.3 | 2.4 | 2.8 | 3.3 | 3.8 | 3.8 | 2.3 | 1.4 | 1.1 | 0.6 | 2.6 |
| Luxembourg . . | 0.5 | 0.8 | 2.0 | 2.9 | 3.3 | 4.1 | 4.7 | 3.8 | 2.4 | 1.4 | 0.6 | 0.4 | 2.2 |
| Melsbroek . . . | 0 8 | 1 2 | 1.5 | 2.7 | 3.3 | 3.9 | 4.3 | 3.7 | 2.5 | 1.5 | 0.9 | 0.7 | 2 3 |
| Saint-Hubert . . | 0.3 | 0.5 | 1.4 | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 2.8 | 2.6 | 1.6 | 1.0 | 0.4 | 0.3 | 1.5 |
| Uccle . . . . . | 0.3 | 0.8 | 1.4 | 2 2 | 2.6 | 3.3 | 3.5 | 2.9 | 1.6 | 1.1 | 0.6 | 0.4 | 1.7 |
| *Uccle 1901-1930.* | | | | | | | | | | | | | |
| | 0.6 | 0.7 | 1.2 | 1.7 | 2.5 | 2.4 | 2.8 | 2 8 | 2.0 | 1.2 | 0.6 | 0.6 | |

*5. — Vitesse du vent en mètres par seconde.*

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coxyde . . . . | 4.0 | 4.5 | 4.0 | 4.0 | 3.4 | 3.0 | 3 1 | 2.9 | 3.3 | 3.3 | 4.2 | 3.9 |
| Florennes . . . | 3.7 | 4.1 | 3.3 | 3.5 | 3.1 | 2.7 | 3.0 | 2.8 | 3.1 | 3.2 | 3.9 | 4.1 |
| Gembloux . . . | voir Melsbroek | | | | | | | | | | | |
| Luxembourg . . | 3.4 | 3.6 | 3.7 | 3.8 | 3.7 | 3.1 | 2.7 | 3.1 | 3 3 | 3.2 | 3 6 | 3.5 |
| Melsbroek . . . | 3.9 | 3.9 | 3.3 | 3.6 | 2.3 | 2.9 | 2.8 | 3.0 | 3.3 | 3.1 | 3.7 | 3.5 |
| Saint-Hubert . . | 4.1 | 4 3 | 3.6 | 4.0 | 3.4 | 2.8 | 2.8 | 2.6 | 3.2 | 3.5 | 3.9 | 4.1 |
| Uccle . . . . . | 4.0 | 4.6 | 4.0 | 4.3 | 3.7 | 3.2 | 3.3 | 3.2 | 3.6 | 3 6 | 4.3 | 4.1 |
| *Uccle 1901-1930.* | | | | | | | | | | | | |
| | 5.0 | 4.8 | 4.7 | 4.5 | 3.7 | 3.4 | 3 9 | 3 4 | 3.9 | 3.7 | 4.3 | 4.9 |

*6. Précipitations mm par mois.*

| | J | F | M | A | M | J | J | S | O | N | D | D | An |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coxyde . . . . | 50 | 59 | 35 | 45 | 59 | 48 | 59 | 69 | 65 | 70 | 85 | 62 | 707 |
| Florennes . . . | 73 | 86 | 59 | 67 | 86 | 79 | 67 | 91 | 95 | 42 | 112 | 89 | 826 |
| Gembloux . . . | 67 | 67 | 58 | 53 | 66 | 48 | 75 | 87 | 76 | 38 | 102 | 77 | 824 |
| Luxembourg . . | 61 | 70 | 47 | 64 | 54 | 54 | 73 | 55 | 76 | 91 | 51 | 98 | 821 |
| Melsbroek . . . | 55 | 55 | 47 | 62 | 67 | 36 | 65 | 74 | 60 | 37 | 74 | 78 | 710 |
| Saint-Hubert . . | 102 | 101 | 75 | 82 | 75 | 110 | 78 | 135 | 95 | 58 | 137 | 110 | 1129 |
| Uccle . . . . . | 63 | 60 | 49 | 61 | 58 | 47 | 69 | 90 | 67 | 37 | 83 | 84 | 767 |
| *Uccle 1901-1930.* | | | | | | | | | | | | | |
| | 67 | 50 | 60 | 63 | 65 | 65 | 90 | 75 | 66 | 76 | 78 | 82 | 835 |

*1. — La température.*

Le climat de la Moyenne Belgique est représenté par Uccle, Melsbroek, Gembloux et Florennes. A Florennes cependant la température est systématiquement moindre que dans les 3 premières stations (influence de l'altitude). Saint-Hubert représente le climat de la Haute-Ardenne, à

hivers froids et étés frais. A Coxyde, climat littoral, les hivers sont doux et les étés frais. Le climat de Luxembourg présente une tendance continentale, avec des hivers froids et des étés chauds.

Si nous comparons pour Uccle les données de la période 1901-1930 à celles de la période 1949-1953, nous constatons que ces 5 dernières années ont été toutes plus chaudes que la moyenne.

### 2. — *L'insolation relative.*

Le nombre d'heures d'insolation est donné par l'héliographe Campbell-Stokes à papier bleu. L'insolation lrelative est égale au nombre res de soleil observé divisé par le nombre d'heures de soleil possible.

L'insolation est, à Uccle, significativement plus élevée que dans les autres stations. Viennent ensuite Coxyde et Luxembourg, suivies des autres stations, toutes également ensoleillées.

Pour Uccle, la moyenne 1949-1953 est également plus élevée que la moyenne 1901-1930.

### 3. — *La radiation globale en cal g $cm^{-2}$ $jour^{-1}$.*

La mesure de la radiation globale directe et diffuse exige des appareils coûteux et délicats (Thermopile de Moll, cellules d'Eppley). Il n'en existe qu'à Uccle, et depuis peu, à Gembloux. Pour toutes les stations, nous avons converti l'insolation relative mensuelle en cal g $cm^{-2}$ $jour^{-1}$, en nous référant aux tables établies par Nicolet et Dogniaux (11). Le classement des stations est le même que pour la radiation. Celle-ci se répartit au cours de l'année d'une façon identique pour toutes les stations, selon les pourcentages mensuels suivants :

| J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 4 | 7 | 12 | 14 | 16 | 15 | 13 | 8 | 6 | 2 | 1 |

Si l'on compare la radiation à la température moyenne de l'air, on s'aperçoit que, pour une même intensité de radiation l'air est plus froid au printemps qu'en automne. C'est ce qui explique les différences observées entre les résultats obtenus par la méthode de Penman et la méthode de Thornthwaite.

### 4. — *Déficit de saturation.*

Les déficits de saturation les plus faibles se constatent à Saint-Hubert et à Coxyde. L'air est relativement sec en été à Luxembourg.

### 5. — *Vitesse du vent.*

Il n'existe aucune différence sensible dans les vitesses du vent qui pourrait avoir une influence sur la vitesse d'évaporation.

### 6. — *La pression atmosphérique.*

Nous n'avons pas tenu compte de la pression atmosphérique, celle-ci n'ayant qu'une importance minime. Nous avons adopté comme coefficient psychrométrique A la valeur 0.5.

### *7. — Albedo.*

L'albedo d'une surface d'eau est de 0.05.

## C. Résultats et conclusions

### *1. — L'évaporation potentielle.*

Le premier fait saillant est la faible variation de l'évaporation potentielle d'une année à l'autre. La variabilité interannuelle est de 5 à 9, alors que celle de la pluie est de 20 à 26 (Voir tableau II). Les moyennes obtenues sur cette période de 5 ans sont donc très proches de celles qu'on pourrait calculer sur un plus grand nombre d'années. Du reste, en Hollande l'évaporation calculée sur 50 années révèle effectivement une variabilité de 4, tandis que la variabilité de la pluie est 5 fois plus élevée (24).

b) La répartition mensuelle des quantités d'eau évaporées suit celle de la radiation, qui constitue, d'ailleurs, le facteur déterminant de l'évaporation potentielle.

*LES RESULTATS*

*I. — Evaporation d'une nappe d'eau libre - mm par jour moyenne 1949-53.*

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coxyde . . . . | 0.1 | 0.6 | 1.4 | 2.9 | 3.8 | 4.5 | 4.5 | 3.5 | 1.8 | 0.9 | 0.3 | 0.0 |
| Florennes . . . | 0.2 | 0.6 | 1.3 | 2.6 | 3.3 | 4.1 | 4.2 | 3.4 | 1.9 | 0.9 | 0.5 | 0.2 |
| Gembloux . . . | 0.2 | 0.6 | 1.2 | 2.6 | 3.3 | 4.1 | 4.2 | 3.6 | 2.0 | 0.9 | 0.5 | 0.2 |
| Luxembourg . . | 0.2 | 0.5 | 1.6 | 2.6 | 3.8 | 4.4 | 4.7 | 3.8 | 2.0 | 1.2 | 0.3 | 0.1 |
| Melsbroek . . . | 0.3 | 0.7 | 1.4 | 2.7 | 3.1 | 4.3 | 4.1 | 3.6 | 2.1 | 1.1 | 0.5 | 0.3 |
| Saint-Hubert . . | 0.1 | 0.8 | 1.6 | 2.3 | 3.2 | 3.7 | 4.0 | 3.0 | 1.7 | 0.8 | 0.2 | 0.0 |
| Uccle . . . . . | 0.1 | 0.6 | 1.4 | 2.9 | 3.8 | 4.5 | 4.5 | 3.5 | 1.8 | 0.9 | 0.3 | 0.0 |
| *Uccle 1901-1930.* | 0.4 | 0.6 | 1.4 | 2.5 | 3.5 | 3.7 | 3.8 | 3.3 | 2.1 | 0.9 | 0.3 | 0.2 |

*II. — Evaporation d'une nappe d'eau libre mm par mois.*

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | AN | s | variab. (*) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coxyde . . . . | 7 | 22 | 40 | 93 | 103 | 122 | 130 | 107 | 63 | 31 | 12 | 7 | 737 | 44 | 6.0 |
| Florennes . . . | 6 | 17 | 40 | 78 | 96 | 124 | 129 | 104 | 56 | 27 | 14 | 5 | 696 | 46 | 6.6 |
| Gembloux . . . | 8 | 19 | 38 | 77 | 95 | 123 | 129 | 113 | 61 | 29 | 12 | 6 | 709 | 59 | 8.3 |
| Luxembourg . . | 7 | 14 | 47 | 77 | 117 | 131 | 145 | 118 | 62 | 36 | 9 | 3 | 806 | 75 | 9.3 |
| Melsbroek . . . | 11 | 17 | 42 | 81 | 97 | 129 | 127 | 111 | 63 | 34 | 13 | 8 | 734 | 26 | 3.5 |
| Saint-Hubert . . | 2 | 22 | 50 | 69 | 100 | 109 | 123 | 91 | 51 | 26 | 6 | 1 | 650 | 40 | 6.2 |
| Uccle . . . . . | 4 | 16 | 42 | 87 | 119 | 137 | 137 | 110 | 60 | 27 | 9 | 1 | 757 | 37 | 4.9 |
| *Uccle 1901-1930.* | 11 | 16 | 42 | 75 | 109 | 111 | 119 | 103 | 62 | 29 | 8 | 5 | 690 | | |

(*) $s/_{x}$ x 100.

*III. — Evaporation d'une surface gazonnée mm par jour.*

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coxyde . . . . | 0.1 | 0.5 | 0.9 | 2.0 | 2.6 | 3.3 | 3.4 | 2.8 | 1.4 | 0.7 | 0.2 | 0.1 |
| Florennes . . . | 0.1 | 0.4 | 0.9 | 1.8 | 2.5 | 3.0 | 3.2 | 2.7 | 1.3 | 0.6 | 0.3 | 0.0 |
| Gembloux . . . | 0.2 | 0.4 | 0.9 | 1.8 | 2.5 | 3.3 | 3.3 | 2.9 | 1.4 | 0.7 | 0.3 | 0.1 |
| Luxembourg . . | 0.1 | 0.3 | 1.1 | 1.8 | 3.0 | 3.5 | 3.8 | 3.0 | 1.4 | 0.8 | 0.2 | 0.1 |
| Melsbroek . . . | 0.2 | 0.4 | 1.0 | 1.9 | 2.5 | 3.5 | 3.3 | 2.9 | 1.5 | 0.8 | 0.3 | 0.2 |
| Saint-Hubert . . | 0.1 | 0.5 | 1.1 | 1.6 | 2.6 | 2.9 | 3.0 | 2.2 | 1.2 | 0.6 | 0.1 | 0.0 |
| Uccle . . . . . | 0.1 | 0.3 | 1.0 | 2.0 | 3.1 | 3.6 | 3.6 | 2.8 | 1.4 | 0.6 | 0.2 | 0.0 |

*IV. — Evaporation d'une surface gazonnée mm par mois.*

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | an. | avril à sept. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coxyde . . . . | 4 | 13 | 28 | 58 | 82 | 98 | 104 | 86 | 45 | 22 | 7 | 4 | 559 | 472 |
| Florennes . . . | 3 | 10 | 28 | 55 | 75 | 99 | 103 | 83 | 39 | 19 | 8 | 3 | 525 | 454 |
| Gembloux . . . | 5 | 12 | 26 | 54 | 76 | 98 | 103 | 90 | 44 | 21 | 7 | 3 | 539 | 465 |
| Luxembourg . . | 4 | 8 | 33 | 54 | 93 | 105 | 116 | 94 | 44 | 26 | 6 | 2 | 585 | 506 |
| Melsbroek . . . | 7 | 10 | 30 | 57 | 78 | 103 | 102 | 89 | 44 | 24 | 9 | 6 | 559 | 473 |
| Saint-Hubert . . | 2 | 13 | 35 | 49 | 80 | 87 | 99 | 73 | 35 | 18 | 7 | 0 | 498 | 423 |
| Uccle . . . . . | 2 | 9 | 30 | 61 | 95 | 109 | 111 | 88 | 42 | 19 | 5 | 0 | 571 | 506 |

*V. — Différences entre les précipitations moyennes et l'évaporation moyenne, pour une surface gazonnée (mm par mois).*

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coxyde . . . . | 46 | 46 | 7 | —13 | —23 | —50 | —45 | —17 | 20 | 48 | 78 | 58 |
| Florennes . . . | 70 | 76 | 31 | 12 | 11 | —20 | —36 | 8 | 56 | 23 | 104 | 86 |
| Gembloux . . . | 62 | 55 | 26 | —1 | —10 | —50 | —28 | —17 | 32 | 17 | 95 | 74 |
| Luxembourg . . | 57 | 62 | 14 | 10 | —39 | —51 | —43 | 39 | 32 | 65 | 45 | 96 |
| Melsbroek . . . | 48 | 45 | 17 | 5 | —11 | —67 | —37 | 15 | 116 | 13 | 65 | 72 |
| Saint-Hubert . . | 100 | 88 | 40 | 33 | —5 | 23 | —21 | 32 | 40 | 40 | 130 | 110 |
| Uccle . . . . . | 57 | 62 | 14 | 10 | —39 | —51 | —43 | 39 | 32 | 65 | 45 | 96 |

*VI. — Différences entre l'évaporation (méthode Penman) et l'évaporation (méthode Thornthwaite).*

| Uccle : | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Penman . . | 6 | 11 | 29 | 71 | 82 | 109 | 122 | 83 | 52 | 18 | 2 | 1 | 586 |
| Thornthwaite | 13 | 16 | 18 | 62 | 73 | 92 | 121 | 104 | 91 | 52 | 17 | 12 | 671 |
| Saint-Hubert : | | | | | | | | | | | | | |
| Penman . . | 2 | 13 | 35 | 49 | 80 | 87 | 99 | 73 | 35 | 18 | 7 | 0 | 498 |
| Thornthwaite | 0 | 0 | 19 | 44 | 75 | 94 | 110 | 98 | 67 | 39 | 14 | 0 | 560 |
| Coxyde : | | | | | | | | | | | | | |
| Penman . . | 4 | 13 | 28 | 58 | 82 | 98 | 104 | 86 | 45 | 22 | 7 | 4 | 551 |
| Thornthwaite | 11 | 15 | 25 | 46 | 72 | 93 | 101 | 93 | 74 | 44 | 24 | 13 | 611 |

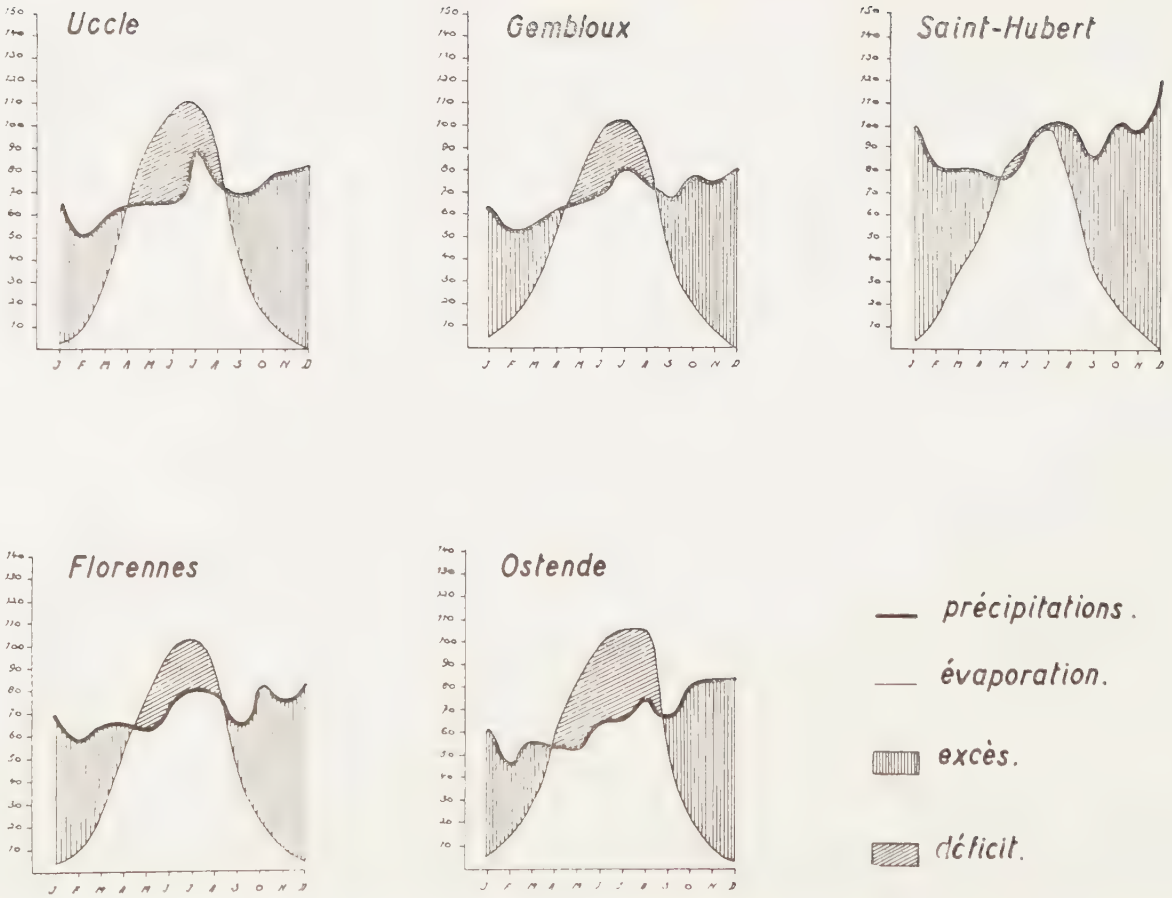

Uccle
Gembloux
Saint-Hubert
Florennes
Ostende
J F M A M J J A S O N D
précipitations.
évaporation.
excès.
déficit.

Fig. 1.

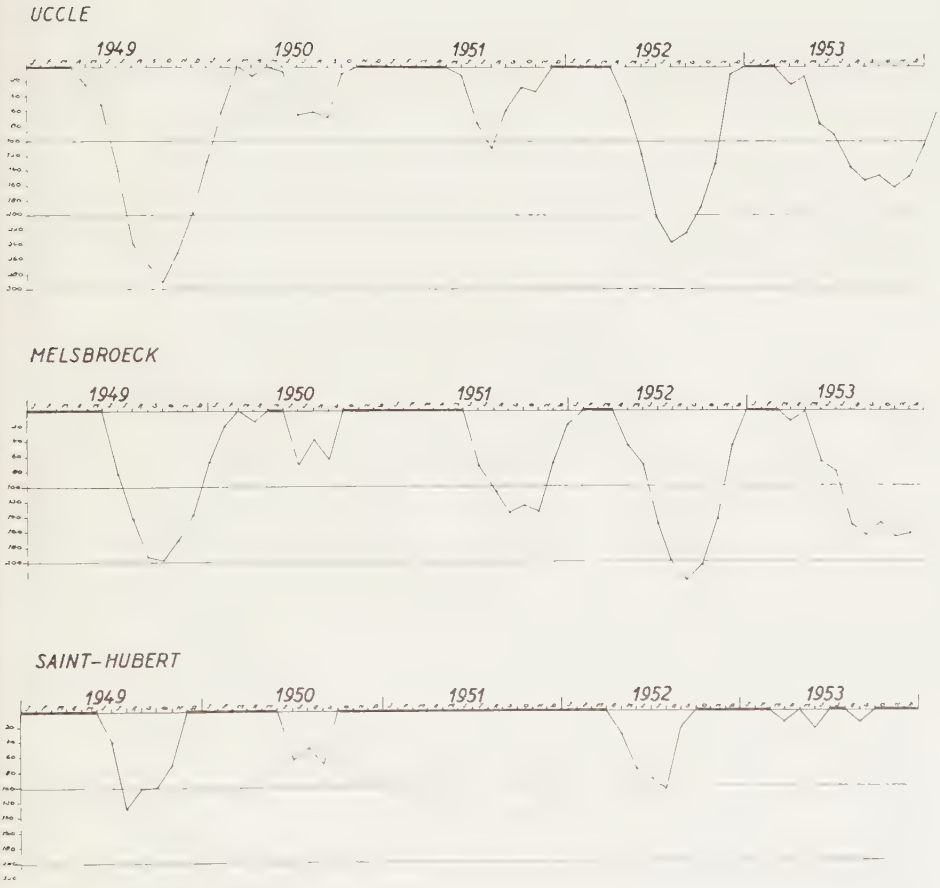

UCCLE
1949
1950
1951
1952
1953
MELSBROECK
1949
1950
1951
1952
1953
SAINT-HUBERT
1949
1950
1951
1952
1953

Fig. 2.

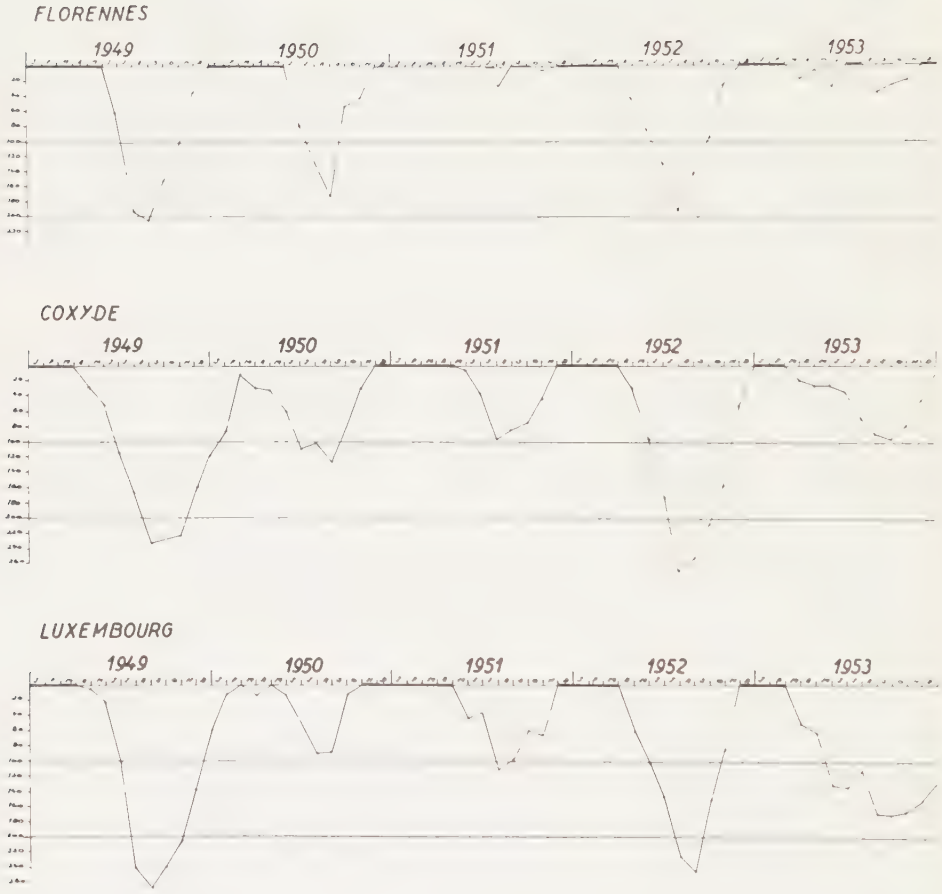

FLORENNES
1949
1950
1951
1952
1953
COXYDE
1949
1950
1951
1952
1953
LUXEMBOURG
1949
1950
1951
1952
1953

Fig. 3.

c) Des différences dans la valeur de l'évaporation se manifestent d'une station à l'autre (voir tableaux II et IV). Le test t de Student a été appliqué afin d'évaluer le degré de signification de ces différences, en prenant la station de Melsbroek comme référence.

| Différence entre : | % de chance que la différence soit significative : |
|---|---|
| Melsbroek - Uccle | 94 |
| Coxyde | 0 |
| Saint-Hubert | 99 |
| Gembloux | 30 |
| Florennes | 70 |
| Luxembourg | 99 |
| Florennes - Saint-Hubert | 85 |

Le nombre d'années d'observation n'était pas suffisant pour établir avec certitude de faibles différences comme celles existant entre Florennes et Saint-Hubert ou entre Melsbroek et Florennes.

### 2. — *Le bilan précipitation-évaporation potentielle.*

Le tableau (V) permet les conclusions suivantes :

a) En Basse et en Moyenne-Belgique, d'importants déficits de pluies apparaissent pendant la période de végétation. Les déficits mensuels cumulés doivent provoquer une baisse croissante des réserves d'eau du sol.

b) En Haute-Ardenne (Saint-Hubert), il n'existe qu'un très faible déficit qui se localise en mai, la pluie étant excédentaire pour tous les autres mois.

d) Les graphiques (2) et (3) expriment, sous forme de déficits cumulés, l'allure de la sécheresse estivale qui atteint, en Basse et Moyenne-Belgique son point culminant de juillet à septembre. Il est évident que cette sécheresse climatique doit induire, pendant cette période, une certaine sécheresse édaphique dont la sévérité dépend des types de sols.

### 3. — *Fréquence d'occurrence d'un déficit donné.*

Chaque sol possède pour une végétation, une culture données un déficit critique au-delà duquel cette végétation, cette culture souffrent de sécheresse. Notre intention n'est pas de discuter de la grandeur de ce déficit, ni d'étudier les moyens de la calculer. Mais en prévision de prochaines études sur ce sujet, nous avons calculé fréquences d'occurrence de déficits mensuels et de déficits annuels cumulés maximums pour Uccle sur 50 années (1901-1950). Etant donné la faible variation annuelle de l'évaporation, nous avons utilisé pour cette dernière les moyennes calculées sur la période 1949-1953.

La fréquence d'occurrence d'un déficit est obtenue par simple lecture du diagramme probit (voir graphiques 4 et 5).

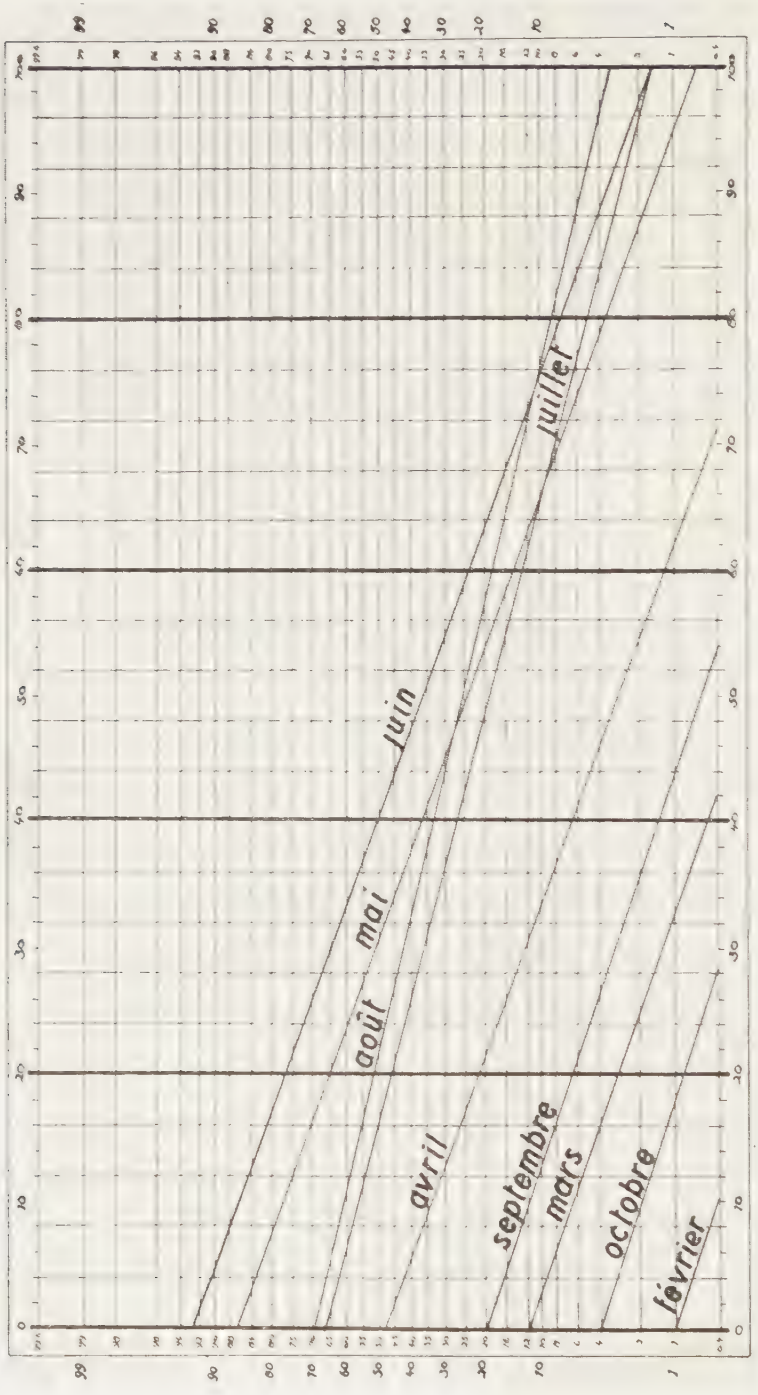



Fig. 1. — Fréquence d'occurrence d'un déficit mensuel.

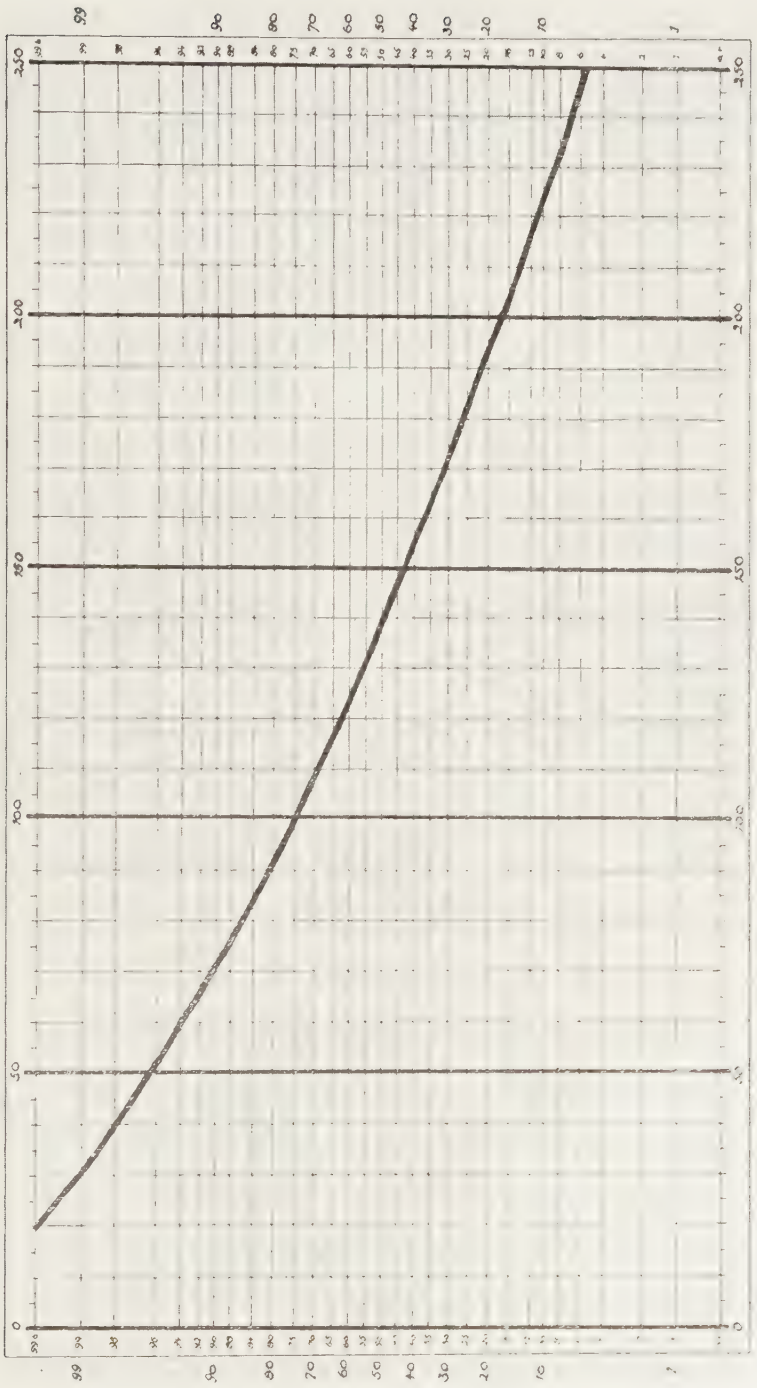



Fig. 1. Fréquence d'occurrence d'un déficit cumulé maximum annuel.

### *4. — Comparaison des résultats obtenus par la méthode de Penman et par la méthode de Thornthwaite.*

Nous avons calculé pour toutes les stations l'évapotranspiration potentielle mensuelle et annuelle d'après la formule de THORNTHWAITE. La comparaison avec les valeurs obtenues par la méthode de PENMAN (évaporation d'un gazon) fait ressortir les faits suivants :

a) Les valeurs de THORNTHWAITE sont plus élevée que les valeurs PENMAN pour l'année entière, d'environ 10 %.

b) L'écart entre les valeurs PENMAN et THORNTHWAITE est en relation avec la valeur du rapport radiation/température. Les valeurs THORNTHWAITE sont notablement plus élevées que les valeurs PENMAN, en automne, époque où le rapport radiation/température est le plus faible.

## *REMERCIEMENTS*

Le Professeur NOIRFALISE qui guide et encourage les présentes recherches sur l'évaporation, a bien voulu revoir notre texte. Nous l'en remercions vivement.

Nous remercions également le Dr H. L. PENMAN et le Dr R. K. SCHOFIELD, du Soil Physics Dept de Rothamsted de nous avoir fourni toutes les indications nécessaires à l'application de leur méthode au cours d'une visite à Rothamsted en août 1953.

M. DE MUNTER nous a fortement aidé à comprendre le problème par ses explications et ses critiques.

Enfin ce travail a pu être réalisé grâce aux données du service météorologique Aviation que M. QUOILIN, Conseiller Météorologique, a mises à notre disposition.

## SUMMARY

### SOME DATA ABOUT EVAPORATION AND WATER DEFICITS IN BELGIUM

Evaporation during a 5 years period is computed for 7 meteorological stations in Belgium and Luxemburg. Penman's formula is applied (Energy balance method). The method is briefly exposed. Results indicate a low variability in annual figures and small differences between stations. Annual potential evaporation of a free water table reaches 29 inches in average, in Low and Medium Belgium, and 25 inches in High Belgium (Ardenne).

Differences between rain and evaporation show high and frequent deficits in Low and Medium Belgium (3 inches for the period of vegetation april to september). Those deficits are not occurring in the Ardennes (above 1300 ft).

A probit diagram give the frequency of occurrence for a deficit.

Thanks are especially due to Dr H L. PENMAN and R.K. SCHOFIELD, of the Soil Phys. Dept, who gave ample information to the author during a visit at Rothamsted in Aug. 1953.

## BIBLIOGRAPHIE


1. ALBRECHT. 1950. — Die Methoden zür Bestimmung der Verdunstung der natürlichen Erdeberfläche. Archiv. Meteo., Geophys. und Bioklim. B II, 1-2, pp. 1-38.
2. ANDERSON, D.B. 1936. — Reelative humidity or vaper pressure dificit. Ecology. Vol. XVIII, pu. 277-282.
3. CRAFTS, CURRIER, STOCKING. 1949. — Water in the physiology of plants. Chronica Botanica, 240 pp.
4. CUMMINGS, N.W., RICHARDSON, B. 1927. — Evaporation from lakes and water surfaces. Physical Review, pp. 30-517.
4. DEMORTIER, G. — Observations météorologiques des années 1949, 1950, 1951, 1952, 1953. Bull. Inst. Agr. et St. de Recherches de Gbx. Tomes XVIII, XIX, XX, XXI et XXII.
5. A. FOCAN et J. FRIPIAT. 1953. — Une année d'observation de l'humidité du sol à Yangambi. Institut Royal Colonial Belge. Bull. des séances XXIV.
6. GEIGER, R. 1942. — Das klima der bodennahen Luftschicht. 2d ed. Braunschweig.
7. M. HALLAIRE. 1953. — Diffusion capillaire de l'eau dans le sol. Annales Agronomiques II, 1953, pp. 143-244.
8. LEIGHLY, T. 1937. — A note on evaporation. Ecology Vol. 18, n° 2, pp. 180-198.
9. P.J. KRAMER. 1949. — Plant and Soil Water Relationships. Mc Graw, 347 pp.
10. NICOLET et DOGNIAUX. 1951. — La détermination du climat de la radiation par la mesure de la durée d'insolation. I.R.M. contribution, n° 2.
11. NICOLET et DOGNIAUX. 1951. — Etude de la radiation globale du soleil. Inst. Roy. Met. Vol. XLVII.
12. PASQUILL. 1949. — Some estimates of the amount and diurnal variation of evaporation from clayland pasture in fair spring weather. Q. J. Roy. Met. Soc. 75, p. 239.
13. H.L. PENMAN. 1948. — Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. of the Roy. Soc. series A. Vol. 193, n° 1.032.
14. H.L. PENMAN. 1949. — The dependance of transpiration on weather and soil conditions. British Journ. of Soil Sc. 1, pp. 74-89.
15. H.L. PENMAN. 1949. — A general survey of meteorology in agriculture and an account of the physics of irrigation control. Q. J. Roy. Met. Soc. Vol. 75, pp. 293-302.
16. H.L. PENMAN. 1950. — Evaporation over the British Isles. Q. J. Roy. Met. Soc. 76, p. 372.
17. H.L. PENMAN. 1951. — The water balance of catchment areas. Union Géodésique et Géophys. Intern. Ass. Gen. Bruxelles 1951. T. III.
18. H.L. PENMAN. 1952. — Experiments on irrigation of sugar beet. Journal of Agric. Sc. V. 42, n° 3.
19. L. PONCELET. 1939. — Notes climatologiques sur la pluie en Belgique. Inst. Roy. Met. Miscellenées Fasc. V.
20. L. PONCELET et H. MARTIN. 1947. — Esquisse climatographique de la Belgique. Inst. Roy. Met. Mémoires, vol. XXVII.
21. L. PONCELET. 1954. — Le régime des précipitations sur les Hautes-Fagnes. I.R.M. contribution, n° 12.
22. P. RYALL and E. HOARE. 1952. — Green crop water requirements for optimum growth. Nat. Inst. of Agr. Engin. 1952.
23. SCHOFIELD, R.K. 1950. — Soil moisture and evaporation. Trans. 4th Int. Cong. of Soil Sc. Vol 2.

24. D.W. STOLP en J.C. MOHRMANN. 1953. — Droogtekansen en Beregening op hoge zandgronden. Mededelingen Direct. van de Tuinbouw, 16-6.

25. SUTTON. 1953. — Micrometeorology Mc Graw-Hill, 323 pp.

26. C.W. THORNTHWAITE and HOLZMAN. 1939. — The determination of evaporation from land and water surfaces. Month. Weather Review Jan. 1939.

27. C.W. THORNTHWAITE. 1948. — An approach toward a rational classification of climate. The Geog. Rview., vol. XXXVIII, n° 1.

28. L. TINBERGEN. 1939. — Observations sur l'évaporation de la végétation d'une tourbière dans les Hautes-Fagnes. Université de Liège. Arch. Inst. de Bot. Vol. 16.

29. UHLIG, S. 1953. — Die Messung der Bodenverdunstung. Zeitschr. Pflanzenern. Dung. und Bodenkunde 60, 168-172.

30. VANDERLINDEN, E., 1927. — Sur la distribution de la pluie en Belgique. I.R.M. Mémoires. Vol. II.

STATION DE CHIMIE ET DE PHYSIQUE AGRICOLES

# Appareil permettant la Détermination de la stabilité de la structure des Sols (*) (**)

par

G. DEMORTIER et G. DROEVEN.

Le problème de la structure des sols est à ce point complexe que son étude exige de nombreuses déterminations tant au laboratoire qu'en pleins champs. Parmi celles-ci la détermination de la stabilité des agrégats dans l'eau occupe une place prépondérante car s'il est toujours possible de donner au sol une bonne structure, l'essentiel est d'amener cette structure à résister à toute destruction sous l'action des agents atmosphériques.

Ce sont les Russes Piculevsky, Pavlov et Tiulin qui, vers les années 1925, essayèrent de reproduire au laboratoire l'alternance de périodes sèches et de périodes humides qui, en pleins champs, est à la base de la destruction de la structure des sols.

Le principe de cette méthode d'analyse est le suivant : Une certaine quantité de terre calibrée (4 à 8 mm) est placée à la partie supérieure d'un jeu de tamis dont le diamètre des mailles va en diminuant de haut en bas. Les tamis sont plongés dans l'eau puis en sont retirés à une cadence déterminée pendant une durée préalablement fixée. Après cette opération la quantité de terre restant sur chacun des tamis est séchée et pesée. L'ensemble des données ainsi obtenues permet de se faire une idée sur la résistance des agrégats à la destruction par l'eau. Les résultats sont exprimés soit par l'ensemble des agrégats stables ($> 0{,}25$ mm) soit par le diamètre moyen de ces agrégats.

(*) Déposé à la rédaction le 26 octobre 1954.

(**) Construit à la station.

Cette méthode proposée en 1928 par TIULIN a depuis lors été adoptée tant dans son pays d'origine, la Russie, qu'en Europe et en Amérique. Sans doute, au fil des années, elle a subi de nombreuses modifications dans ses modalités d'application mais le principe est resté le même. Dans certains cas, l'eau monte et descend alternativement. MEYER a appliqué ce principe en utilisant une sorte d'entonnoir cylindrique dans lequel sont placés les tamis. L'eau arrive par un ajutage situé à la partie inférieure du cylindre et en est rapidement évacuée par un syphon s'amorçant au moment où le niveau de l'eau atteint le tamis supérieur. Dans d'autres cas deux jeux de tamis sont fixés, chacun à l'extrémité d'un levier doué d'un mouvement oscillant par l'intermédiaire d'un excentrique agissant en son centre et agencé de telle façon que lorsqu'une série de tamis est plongée dans l'eau, l'autre série en est retirée.

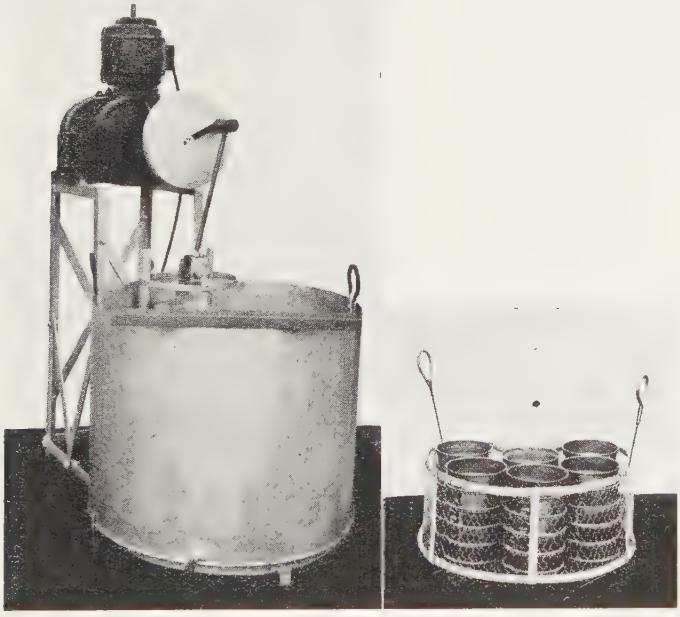
En résumé, cette méthode, quoique purement conventionnelle, est cependant susceptible de donner des résultats facilement reproductibles pour autant que l'on opère toujours dans les mêmes conditions. C'est pourquoi, en nous inspirant de ce qui avait déjà été fait précédemment et en nous basant sur notre propre expérience, nous avons été amenés à concevoir un appareil permettant d'effectuer plusieurs déterminations simultanées tout en éliminant au maximum les sources d'erreurs inhérentes aux variations dans les manipulations imputables à l'opérateur préposé à ce travail.

L'appareil se compose d'une grande cuve cylindrique percée d'un orifice au centre de sa base servant au remplissage et à la vidange. Dans cette cuve se place une grande plaque circulaire à claire-voie reposant sur trois pieds de 3 cm de hauteur. Sur cette plaque sont disposés six jeux de 5 tamis dont le diamètre des mailles est, de haut en bas, de 4 mm — 2 mm — 1 mm — 0,5 mm et 0,25 mm. Un panier en treillis métallique permet de placer simultanément les 6 jeux de tamis dans la cuve et de les en retirer après le tamisage sous eau. Pendant toute la durée de l'opération les tamis restent fixes et les échantillons se trouvant sur le tamis supérieur restent immergés. Le niveau de l'eau dans la cuve monte et descend grâce à l'action d'un cylindre fermé qui est alternativement plongé et retiré de l'eau et dont le volume a été calculé de façon à ce qu'il déplace un volume d'eau capable de faire monter le niveau dans la cuve de 2 cm environ.

Un moteur électrique dont l'arbre est muni d'un volant transmet le mouvement au cylindre par l'intermédiaire d'une bielle dont le pied est constitué d'un système d'attache articulée qui permet au cylindre de se déplacer suivant un axe vertical et dont la tête est fixée au moyen d'une vis de serrage dans une rainure radiale pratiquée dans le volant. Cette rainure permet d'écarter ou de rapprocher le point d'attache du centre du volant et par conséquent de faire varier le volume déplacé par le cylindre. Lorsque celui-ci se trouve à son « point mort haut », il reste encore, par sa base, immergé dans l'eau sur une hauteur de 2 cm environ. Cet agencement a été prévu dans le but d'éviter de trop grands remous dans

la masse liquide lorsque le cylindre est plongé dans l'eau. Enfin, ce dernier se déplace entre trois montants fixés au fond de la cuve et munis de roulements à billes. La cadence a été amenée, par un système de démultiplication, à 40 plongées par minute et l'emploi d'une minuterie permet l'arrêt automatique du moteur après un temps déterminé.

En conclusion, cet appareil permet non seulement d'effectuer des analyses en série mais aussi d'obtenir des résultats aisément reproductibles, les manipulations de l'opérateur étant réduites au strict minimum et les conditions dans lesquelles on opère restant toujours identiques.



STATION DE CHIMIE ET DE PHYSIQUE AGRICOLES

# Type de Sonde permettant le prélèvement d'échantillons de sol en place (*)

par

G. DEMORTIER et G. DROEVEN.

Les déterminations au laboratoire telles que la perméabilité du sol et sa porosité, l'établissement des courbes de pF. etc. nécessitent l'utilisation d'échantillons dont la structure naturelle a été respectée dans toute la mesure du possible. A cet effet de nombreux types de sondes ont déjà été mis au point et sont utilisés avec plus ou moins de succès, surtout si l'on tient compte de la difficulté du problème à résoudre. La sonde que nous nous proposons de décrire dans la présente note et que nous avons pu réaliser grâce à l'extrême obligeance de la Station de Génie Rural à Gembloux (Directeur : M. Ch. Dricot) s'inspire à la fois des sondes de Coile (1) et de Uhland (2).

Elle se compose de quatre parties bien distinctes :

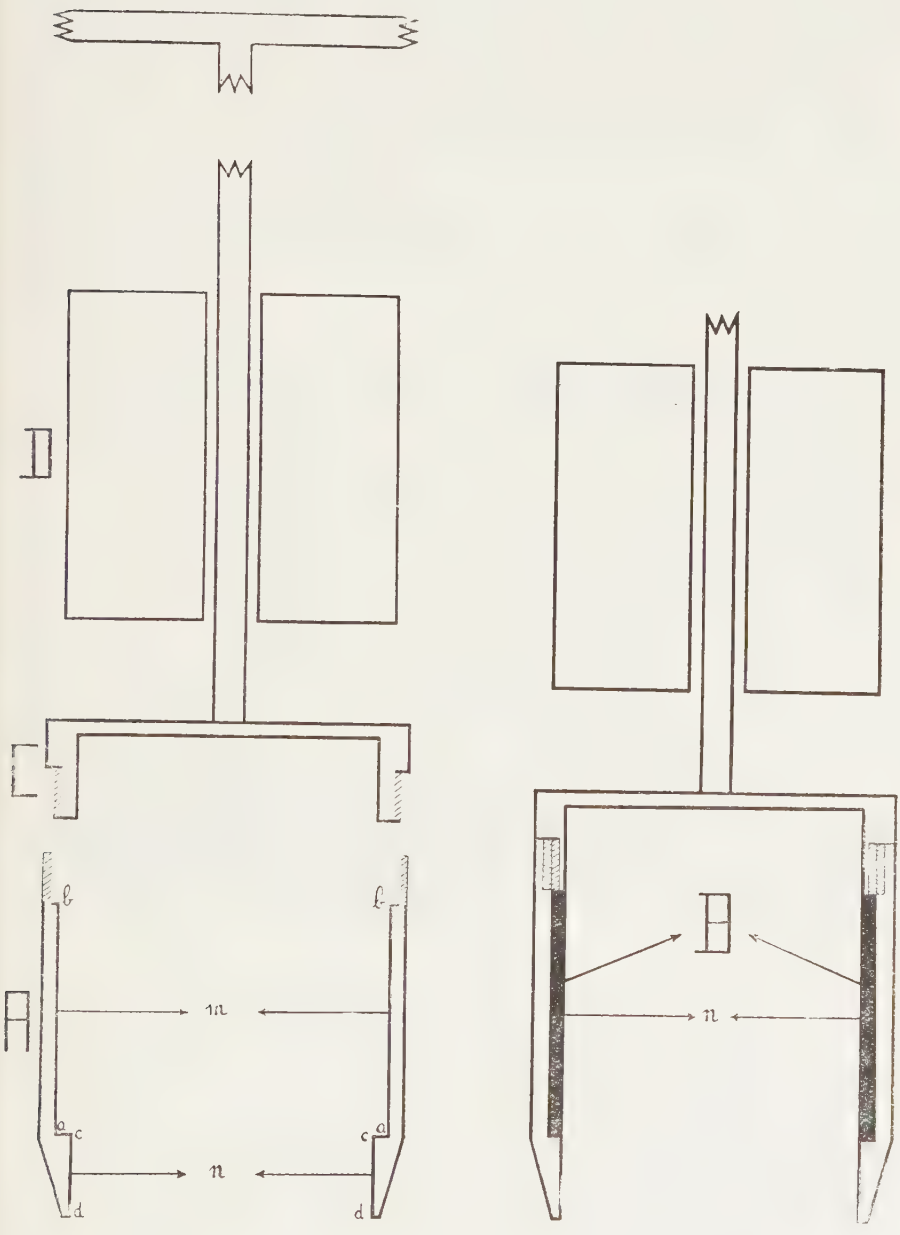
1. La sonde proprement dite (A) constituée d'un cylindre en acier façonné suivant les données du croquis ci-joint.

2. Un cylindre intérieur (B) en matière plastique rigide vient se loger à l'intérieur de la sonde entre les niveaux (a) et (b). Les dimensions de ce cylindre sont telles que son diamètre extérieur correspond exactement au diamètre intérieur de la sonde (m) entre (a) et (b) et que son diamètre intérieur (n) correspond au diamètre intérieur de la sonde entre (c) et (d).

(*) Déposé à la rédaction le 26 octobre 1954.

(1) « Soil Samplers », par T. S. Coile. Soil Science, vol. 42, août 1936, n° 2.

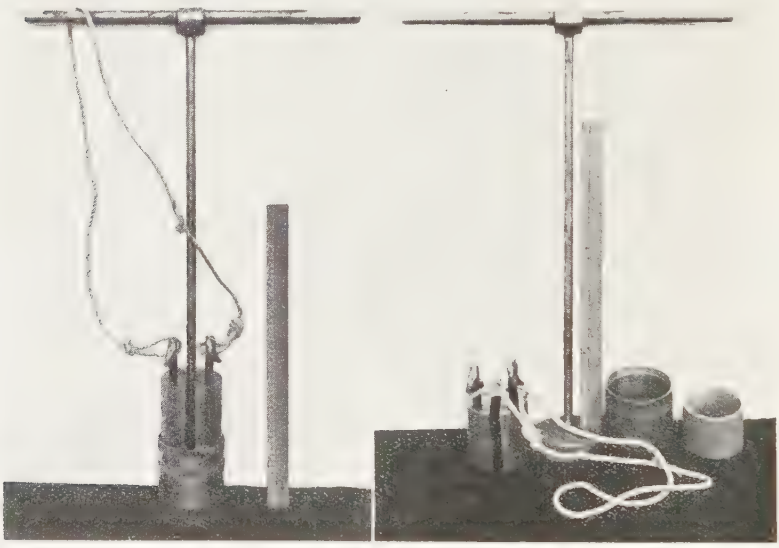
(2) « Soil Permeability Determinations for use in soil and Water Conservation », par R. E. Ulhand et Alfred M. O'Neal, U. S. Department of Agriculture S. C. S. Washington. Janv. 51.


b
b
m
a
c
c
a
n
d
d
n

3. Le couvercle (C) est surmonté de la tige; il se visse sur le corps de la sonde (A). Son diamètre extérieur est le même que celui de la sonde; quant à son diamètre intérieur, il est le même que le diamètre correspondant du cylindre interne.

4. Une masse cylindrique (D) de 7 kg environ, en coulissant le long de la tige, sert à l'enfoncement de la sonde dans le sol.

Les différentes parties de la sonde étant assemblées, on peut constater que le diamètre intérieur de la sonde, à sa partie inférieure, c'est-à-dire celui qui détermine la section de l'échantillon prélevé, est identique à celui du diamètre intérieur du cylindre destiné à recevoir l'échantillon.



Extérieurement la sonde se termine à sa base en forme de biseau de façon à ce que la compression du sol qui résulte de l'enfoncement de la sonde en profondeur se porte vers l'extérieur et n'influence pas la structure de l'échantillon prélevé. D'autre part, c'est également dans le but de respecter la structure naturelle du sol que l'on utilise une masse coulissant le long de la tige, l'introduction par rotation et pression à la façon d'une vrille étant de nature à provoquer des modifications importantes dans l'état naturel du sol.

En outre, durant l'opération, le cylindre intérieur est immobilisé de part et d'autre grâce à l'agencement du corps de la sonde tel qu'il ressort du croquis. Enfin, lorsque l'échantillon est retiré de la sonde, la terre

débordant du cylindre tant à sa partie inférieure que supérieure est soigneusement enlevée au moyen d'un couteau de manière que chacune de ces surfaces soit bien plane et délimite ainsi un volume de terre correspondant au volume du cylindre.

En résumé, cette sonde ne prétend pas atteindre la perfection dans le domaine de la recherche mais elle a été conçue dans le but d'éliminer au maximum les sources d'erreurs inhérentes au prélèvement d'échantillons de sol en place. De plus, si l'on possède un assez grand nombre de cylindres dont la matière choisie présente de multiples avantages tels que la solidité, la légèreté, la facilité d'entretien et l'inaltérabilité, il est possible de prélever de nombreux échantillons et de les mettre en réserve, suivant les nécessités du moment.

Il suffira simplement d'avoir à sa disposition de simples boîtes en carton paraffiné à l'abri desquelles les échantillons pourront être conservés avant d'être analysés au laboratoire.

STATION DE CHIMIE ET DE PHYSIQUE AGRICOLES

# Dispositif expérimental pour l'étude de la fermentation méthanique au Laboratoire (*)

par

G. DEMORTIER et P. HUGE.

## Introduction

La fermentation méthanique du fumier est sous la dépendance de facteurs nombreux d'ordre physique, chimique et biologique.

Une étude méthodique de ces facteurs dans les conditions normales de la pratique conduirait à des dépenses énormes tant en matériel qu'en matières premières utilisées; en outre, elle devrait s'étendre sur une période extrêmement longue avant de fournir quelques conclusions.

Pour ces raisons, nous avons recherché des méthodes rapides de travail et mis au point des appareils permettant d'expérimenter un grand nombre de facteurs susceptibles d'influencer le rendement de la fermentation méthanique des celluloses ou de nous éclairer sur son mécanisme.

Les résultats positifs intéressants sont ensuite transposés sur le plan de la pratique courante par des épreuves réalisées sur plusieurs tonnes de matière.

## Le matériel expérimental

Le matériel expérimental dont nous donnons la description ci-dessous présente les avantages suivants :

1) Il est relativement peu coûteux.
2) Il est peu encombrant et offre la possibilité d'exécuter de nombreuses expériences dans un espace restreint (par exemple, dans les étuves de bactériologie).
3) Les matières expérimentées peuvent être placées aisément dans de bonnes conditions d'anaérobiose.

(*) Déposé à la rédaction le 26 octobre 1954.

4) Il permet une lecture suffisamment précise du dégagement gazeux afin d'apprécier l'action du facteur étudié.

Beaucoup de solutions ont été proposées pour obtenir l'anaérobiose mais la plupart des chercheurs se sont désintéressés du dégagement gazeux et de sa mesure éventuelle.

Notre installation comprend deux séries d'appareils qui se complètent. Les essais sont effectués en tubes et en bocaux.

Les essais en tubes ont été inspirés par la technique de GUERRA (*). Ils permettent, sous un faible encombrement, (une centaine d'essais n'occupe qu'un volume de quelques décimètres cubes) de mesurer les dégagements gazeux de fermentations anaérobies.

Quant aux bocaux, ils fournissent des matières solides, liquides et gazeuses en quantité telle qu'ils permettent d'effectuer de nombreuss analyses chimiques qualitatives et quantitatives.

Enfin, les essais en tubes et en bocaux se prêtent l'un et l'autre aux examens microscopiques et bactériologiques.

## Description des appareils

### A. — LES TUBES (FIG. I)

Nous employons des tubes à essais d'un diamètre de 18 (ou 20) mm et d'une hauteur d'environ 180 (ou 200) mm. Ces tubes sont aussi cylindriques et aussi bien calibrés que possible. Les matières cellulosiques (S), réduites en particules semblables obtenues après broyage et tamisage, sont pesées (0,5 g ou 1 g de matière sèche par tube) et introduites au fond des tubes. La condition d'anaérobiose est obtenue en versant 5 ou 10 cc de liquide (L) dans le tube. Afin d'éviter que les matières cellulosiques ne remontent à la surface, un petit treillis (T) est engagé dans le tube et les maintient dans la masse de liquide. Les bulles de gaz, provenant de la fermentation, peuvent s'échapper au travers des mailles du treillis. L'ensemencement peut être effectué soit par le milieu liquide, soit par le milieu solide.

COUPE D'UN TUBE 18/180

FIG. I

Sur le liquide est coulée une couche de paraffine solide mais tendre à la température ambiante. Lorsqu'elle est figée, elle forme un bouchon (B) qui permet une fermeture hermétique.

Au cours de la fermentation méthanique, les gaz (G) refoulent vers le haut le bouchon de paraffine comme un piston dans un cylindre.

Les tubes peuvent être gradués et l'ascension du bouchon donne une mesure de dégagemeent gazeux. Cette technique très simple et peu coûteuse, permet d'étudier un très grand nombre de facteurs en un temps relativement court. Elle ouvre la possibilité de connaître assez rapidement ceux qui paraissent intéressants et de les reprendre dans la technique des bocaux, exposée ci-dessous.

(*) Dans Hauduroy. Techniques bactériologiques. Masson et Cie. Paris (1951), page 48.

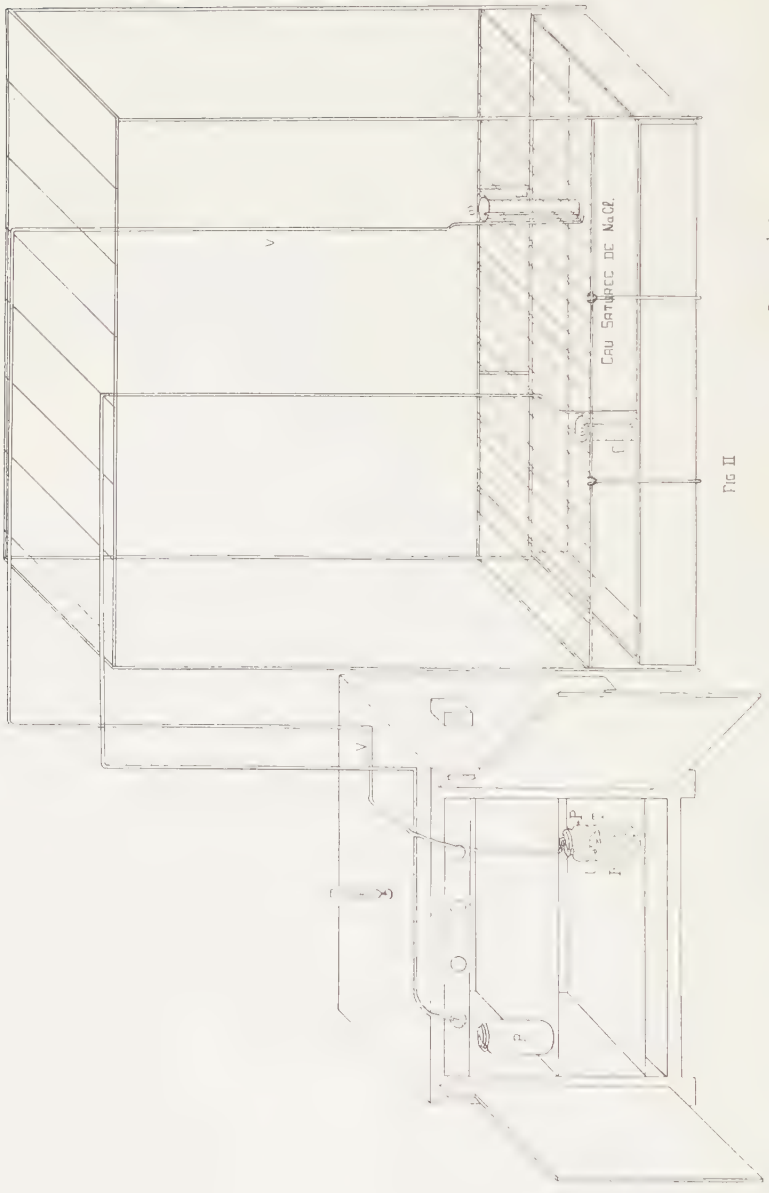



Fig II

B. — LES BOCAUX (FIG. II)

Nous utilisons des bocaux (B) de 2 litres de capacité utilisés couramment pour la conservation ménagère des matières alimentaires (viandes, légumes, fruits, etc.). Il est possible de traiter ici de 100 à 150 gr de matières cellulosiques (S) exprimées en matière sèche.

Ces matières sont maintenues dans la partie inférieure des bocaux à l'aide d'un treillis (T) pressé vers le bas par un poussoir métallique (P) qui s'appuie lui-même contre l'intérieur du couvercle. A l'aide d'une mèche spéciale le couvercle est percé d'un trou dans lequel s'engage un tube de verre, serré dans le couvercle au moyen d'un anneau de caoutchouc. Un système de tubes de verre (V), relie chaque bocal à une éprouvette gradués (E) de 1.000 cc; celle-ci est renversée sur un plan d'eau afin de pouvoir mesurer le dégagement de chaque bocal. Cette eau est saturée de NaCl pour réduire au minimum les pertes de gaz par dissolution (le $CO_2$ notamment).

On remarquera sur la figure, la hauteur des tubes de dégagement entre les bocaux et les éprouvettes graduées. Ce dispositif de sécurité évite la rentrée de la solution de NaCl dans le bocal, lorsque sous l'influence d'un dérèglement de l'étuve ou de l'absorption de gaz, un degré de vide exagéré se manifeste dans les bocaux. L'ascension de liquide dans les tubes verticaux indique à l'opérateur une certaine « dépression » dans le circuit et lui permet d'y porter remède.

Notons également un autre dispositif de sécurité dans lequel le tube d'arrivée des gaz débouche au haut des éprouvettes (1). Par ailleurs, celles-ci ne sont jamais complètement vides de gaz à la partie supérieure. L'opérateur contrôle régulièrement le niveau du gaz dans les éprouvettes. Si celui-ci monte, c'est qu'une dépression se manifeste dans le circuit: par contre, si le niveau descend jusqu'au plan d'eau, il faut suspecter une fuite dans le circuit et il est alors aisé de la dépister.

Par suite de la quantité de matière expérimentée par bocal, le dégagement journalier permet une analyse complète des gaz provenant des fermentations. Le prélèvement de ces gaz s'effectue suivant la technique habituelle (pipettes de Hempel) et l'analyse est effectuée suivant la méthode classique dans un appareil d'Orsat.

Les gaz dégagés et récoltés se trouvent portés à des pressions et des températures variables. Il est aisé, à l'aide de tables, de rapporter les volumes à la pression de 760 mm de mercure et à la température de 0°C.

Suivant les dimensions de l'étuve, ce dispositif permet de conduire parallèlement plusieurs dizaines d'essais.

## Conclusion

Grâce à ces deux séries de matériel, il est possible d'effectuer des essais en grand nombre et de pratiquer l'analyse chimique des gaz, des liquides et des matières solides ainsi que les examens bactériologiques au cours de la fermentation méthanique.

CHAIRE DE MATHEMATIQUES

# Comparaison d'un ou de plusieurs échantillons à un échantillon de référence (*)

par

Paul DE MUNTER.

*Résumé.*

Le § 1 est consacré à un test non-paramétrique proposé en 1951 par WHITNEY pour la comparaison de deux échantillons à un échantillon de référence. Les propriétés du test sont également citées. Au § 2, on propose un test pour la comparaison de plusieurs échantillons à un échantillon standard. Les propriétés du test sont citées et une application numérique illustre son emploi.

*Introduction.*

La comparaison de deux échantillons (ou plus exactement, la comparaison des deux populations dont ces échantillons sont extraits au hasard), peut s'effectuer au moyen de nombreux tests devenus classiques. Rappelons les plus importants. D'une part, si on suppose que les populations sont distribuées normalement (courbe de LAPLACE-GAUSS) avec la même variance, on dispose du test de STUDENT; (cf., par exemple, VESSEREAU, [1]). D'autre part, si on ne peut faire aucune hypothèse sur la forme des distributions parents on dispose de tests non-paramétriques, dont le plus utilisé actuellement est le test de WILCOXON: le département de la Statistique du Centre Mathématique d'Amsterdam a publié une notice relative à l'emploi de ce test, [2].

(*) Déposé à la rédaction le 5 avril 1954.

Par contre dès qu'il y a plusieurs échantillons en présence, les tests sont plus rares. Dans l'hypothèse de normalité, on dispose de l'analyse de la variance, [1]; dans l'autre cas on dispose d'un test non-paramétrique dû à WHITNEY, [3], pour la comparaison de trois échantillons et de tests non-paramétriques du problème des « r » échantillons pris dans leur ensemble; par exemple, [4], [5]. Le test de WHITNEY est rappelé au §1.

Au § 2 nous proposons un test non-paramétrique pour la comparaison de plusieurs échantillons à un échantillon de référence.

Les test non-paramétriques s'appliquent en général lorsque les données sont vraisemblablement non normales. Il en est ainsi, par exemple, lorsqu'on compte le nombre de fois qu'un certain événement E apparaît dans une longue série d'observations et que la probabilité de E est d'autant plus petite que la série d'observations est grande, le produit de cette probabilité et de l'effectif étant borné. Dans ce cas, fréquent dans les applications statistiques, la population parent de la variable observée a une distribution de Poisson. En général, c'est le cas de tous les « comptages », soit du nombre de coups d'un compteur Geiger, soit du nombre de bactéries contenues dans un petit échantillon, soit du nombre de plantes appartenant à une même variété dans un grand nombre d'individus de la même espèce, soit du nombre de globules rouges mesuré à l'hématimètre, etc. Un critère simple mais assez grossier permet d'estimer si les observations sont bien distribuées suivant la loi de Poisson : la variance doit être du même ordre de grandeur que la moyenne.

Lorsque la probabilité de E est constante, la distribution de la variable est binomiale; c'est le cas des observations de pourcentages.

Les distributions de Poisson ou binomiales ne sont pas les seules distributions non normales observées dans les applications statistiques : la vitesse moléculaire a une distribution $\chi^2$, les revenus en économie ont une distribution soit logarithmico normale, soit de Pareto, etc.

1. *Cas de trois échantillons.*

Considérons trois échantillons

$$X_1, X_2, \ldots, X_l,$$
$$Y_1, Y_2, \ldots, Y_m,$$
$$Z_1, Z_2, \ldots, Z_n,$$

extraits au hasard de populations dont les fonctions de distribution sont respectivement $F(x)$, $G(y)$ et $H(z)$; l, m, n sont les effectifs respectifs. On désire tester l'hypothèse nulle $H_0$ exprimant que les trois échantillons proviennent de la même population, à savoir, $H_0 : F(t) = G(t) = H(t)$, pour tout t. On ne fait aucune hypothèse relativement à cette distribution commune éventuelle. Le test de $H_0$ proposé par WHITNEY, est basé sur la considération simultanée des variables aléatoires $W_1$ et $W_2$ respectivement égales au nombre de couples $(X_i, Y_j)$ tels que $Y_j < X_i$ et au nombre de couples $(X_i, Z_k)$ tels que $Z_k < X_i$. Diverses alternatives à $H_0$ peuvent être considérées :

a) $H' : F > G, F > H$. Soient X et Y les variables aléatoires dont les fonctions de distribution sont respectivement $F(x)$ et $G(y)$. Une inégalité

telle que $F > G$ implique que la variable X est stochastiquement inférieure à la variable Y. En effet, si $x'$ et $y'$ sont deux nombres tels que $F(x') = G(y')$ on a $x' < y'$. De même l'inégalité $F > H$ implique que X est stochastiquement inférieure à la variable Z. Lorsque l'alternative $H'$ est vraie, les deux variables $W_1$ et $W_2$ tendent simultanément à prendre de petites valeurs. En conséquence, la région critique est formée des valeurs de $W_1$ et $W_2$ telles que $W_1 \leqslant w'_1$ et $W_2 \leqslant w'_2$, où les nombres $w'_1$ et $w'_2$ sont tels que la probabilité de l'événement $W_1 \leqslant w'_1$, $W_2 \leqslant w'_2$ soit au plus égale à $\alpha$ lorsque l'hypothèse nulle $H_0$ est vraie, ce qui s'écrit,

$$P \left\{ W_1 \leqslant w'_1 ; W_2 \leqslant w'_2 \mid H_0 \right\} \leqslant \alpha,$$

$\alpha$ étant le niveau de signification du test (généralement, 0,05). Le choix de $\alpha$ ne fixe pas univoquement les seuils $w_1$ et $w'_2$; on convient de les choisir de telle sorte que les distributions marginales de $W_1$ et $W_2$ soient telles que

$$P \left\{ W_1 \leqslant w'_1 \mid H_0 \right\} = P \left\{ W_2 \leqslant w'_2 \mid H_0 \right\}$$

ce qui implique $w'_1 = w'_2$ lorsque $m = n$.

b) $H''$ : $C > F > H$. Dans ce cas la région critique du test est formée des valeurs de $W_1$ et $W_2$ telles que $W_1 \geqslant w''_1$ et $W_2 \leqslant w''_2$, où les nombres $w''_1$ et $w''_2$ sont tels que

$$P \left\{ W_1 \geqslant w''_1 ; W_2 \leqslant w''_2 \mid H_0 \right\} \leqslant \alpha,$$

et que

$$P \left\{ W_1 \geqslant w''_1 \mid H_0 \right\} = P \left\{ W_2 \leqslant w''_2 \mid H_0 \right\}$$

On démontre aisément que cette dernière condition équivaut à $w''_1 + w''_2 = lm$, si $m = n$. En effet, dans ce cas, $W_1$ et $W_2$ ont la même distribution de moyenne $\frac{lm}{2}$. Pour que la condition soit remplie, il faut et il suffit que $w''_1 = \frac{lm}{2} - k$ et $w''_2 = \frac{lm}{2} + k$, où k est un nombre positif quelconque.

c) $H'''$ : $F \neq G \neq H$. Dans ce cas la région critique du test est formée des valeurs de $W_1$ et $W_2$ telles que $| T_1 | > \lambda_1$ et $| T_2 | > \lambda_2$, où

$$T_i = \frac{W_i - \mu_{io}}{\sigma_{io}}, \quad i = 1, 2.$$

Dans ces formules, $\mu_{i0}$ et $\sigma_{i0}$ représentent respectivement la moyenne et l'écart type de $W_i$ lorsque $H_0$ est vraie. Les coefficients $\lambda_1$ et $\lambda_2$ sont tels que

$$P\left\{|T_1| > \lambda_1 ; |T_2| > \lambda_2 \mid H_0\right\} \leqslant \alpha$$

et que

$$P\left\{|T_1| > \lambda_1 \mid H_0\right\} = P\left\{T_2| > \lambda_2 \mid H_0\right\}$$

ce qui implique $\lambda_1 = \lambda_2$, étant donné qu'on démontre que $T_i$ a une distribution approximativement normale. On démontre également que

$$\mu_{10} = \frac{lm}{2}, \qquad \sigma_{10} = \frac{lm}{12}(l + m + 1),$$

$$\mu_{20} = \frac{ln}{2}, \qquad \sigma_{20} = \frac{ln}{12}(l + n + 1).$$

La probabilité de rejeter $H_0$ quand elle est vraie (erreur de 1re espèce) est conventionnellement fixée une fois pour toutes; c'est le niveau de signification $\alpha$. La probabilité $P_H$ de rejeter $H_0$ quand cette hypothèse est fausse, dépend de $\alpha$, de H et des effectifs l, m, et n. Le test est d'autant meilleur que $P_H$ est grand. On dit qu'il est impartial si $P_H \geqslant \alpha$; on dit qu'il est consistant si $\lim P_H = 1$, lorsque les effectifs tendent vers l'infini.

On démontre que le test de $H_0$ basé sur les valeurs typiques $W_1$ et $W_2$ et sur la région critique (c) est consistant relativement aux alternatives $P\left\{Y < X\right\} \neq \frac{1}{2}$ et $P\left\{Z < X\right\} \neq \frac{1}{2}$. Lorsque ces probabilités valent $\frac{1}{2}$, on démontre que $P_H$ peut être bornée par un nombre inférieur à l'unité.

En conséquence, le test n'est pas recommandé dans le cas où l'on suppose que les variables Y — X et Z — X ont une médiane commune égale à zéro. Dans le cas des alternatives H′ ou H″, on peut déduire des conclusions analogues, les signes $\neq$ étant simplement remplacés par des signes d'inégalité adéquats.

Whitney a tabulé la distribution combinée exacte de $W_1$ et $W_2$ lorsque $H_0$ est vraie et lorsque $l = 6$, $m = n = 3$. Dans le cas où les effectifs sont suffisamment grands ($> 6$, par exemple), on utilise les tables de Pearson pour la distribution normale à deux variables. Le coefficient de corrélation de $W_1$ et $W_2$ a été calculé par Whitney; on démontre que si $\rho_0$ représente ce coefficient lorsque $H_0$ est vraie,

$$\rho_0 = \lim_{l,\, m,\, n \to \infty} \sqrt{\frac{lmn}{(l + m + 1)(l + n + 1)}}$$

On trouvera dans l'article de WHITNEY deux exemples d'application de ce test à un problème d'insecticide: l'un des exemples utilise la distribution exacte des variables $W_1$ et $W_2$, l'autre utilise l'approximation normale.

2. *Cas de plusieurs échantillons.*

Considérons r échantillons

$$X_{11}, X_{12}, \ldots, X_{1n_1},$$

$$X_{21}, X_{21}, \ldots, X_{2n_2},$$

$$X_{r1}, X_{r2}, \ldots, X_{rn_r},$$

d'effectifs respectifs $n_1, n_2, \ldots, n_r$ et extraits au hasard de populations dont les fonctions de distribution respectives sont $F_1(x_1)$, $F_2(x_2)$, ..., $F_r(x_r)$. Notons $X_i$ la variable aléatoire dont la fonction de distribution est $F_i(x_i)$; notons $(X_{ij})$ l'échantillon correspondant; $(j = 1, 2, \ldots, n_i)$. On désire comparer au moyen d'un seul test les fonctions $F_k(x_k)$, $(k = 2, 3, \ldots, r)$ à la fonction $F_1(x_1)$. L'hypothèse nulle que l'on teste est $H_o : F_k = F_1$, quel que soit k. Les alternatives considérées sont $H' : F_k < F_1$ ou $H'' : F_k > F_1$; l'une ou l'autre de ces inégalités étant satisfaites pour une ou plusieurs valeurs de k.

La valeur typique proposée pour tester $H_o$ est telle que la région critique du test est la même que l'on considère H′ ou H″. Les inégalités H′ ou H″ impliquent que la variable $X_k$ est stochastiquement inférieure ou supérieure à $X_1$.

Considérons les $\varkappa - 1$ quantiles échantillons d'ordre $\varkappa$ de l'échantillon $(X_{1j})$. Ce sont les observations $X_{1,sa}$ $(s = 1, 2, \ldots, \varkappa - 1)$ où $a = \frac{n_1 + 1}{\varkappa}$ est supposé entier. Cela revient à supposer que les quantiles coïncident chaque fois avec les observations elles-mêmes. Par exemple, si $\varkappa = 2$, $X_{1,\ n_1 + 1}$ est le seul quantile d'ordre 2, c'est la médiane; $X_{1,\ \frac{n_1 + 1}{2}}$ est effectivement une observation de l'échantillon $(X_{1j})$ si $n_1 + 1$ est pair. L'hypothèse « a entier » n'est pas indispensable; elle est faite pour simplifier l'exposé. Si a n'est pas entier, on choisit pour quantile la moyenne arithmétique des observations contigües. Considérons également les $\varkappa$ intervalles interquantiles $I_t$ : $(X_{1,\ (t-1)a}, X_{1,\ ta})$, $(t = 1, 2, \ldots, \varkappa)$, où l'on suppose, afin de faciliter l'écriture, $X_{1,o} = -\infty$ et $X_{1,\varkappa a} = X_{1,\ n_1 + 1} = +\infty$.

Soit $U_t$ la variable aléatoire représentant le nombre d'observations $X_{kj}$, quel que soit k, appartenant à $I_t$. Lorsque $H_o$ est vraie, la valeur

moyenne de $U_t$ est évidemment $\frac{n'}{\varkappa}$, quel que soit t, où n′ est égal à la somme des effectifs $n_k$. Posons

$$K_\varkappa = \sum_t \left( \frac{U_t}{n'} - \frac{1}{\varkappa} \right)^2$$

Lorsque les effectifs $n_i$ tendent vers l'infini et lorsque l'hypothèse $H_0$ est vraie, la valeur moyenne de la variable $K_\varkappa$ tend vers zéro. Lorsqu'une alternative H′ ou H″ est vraie, la valeur $K_\varkappa$ tend à croître; en conséquence, la région critique du test est formée des valeurs de $K_\varkappa$ telles que

$$K_\varkappa > k_\alpha$$

où $k_\alpha$ est une fonction des effectifs telle que

$$P\left\{K_\varkappa > k_\alpha \mid H_0\right\} \leqslant \alpha.$$

On sait que la variable

$$L_\varkappa = n'. \varkappa. K_\varkappa$$

a une distribution approximativement $\chi^2$ avec $\varkappa - 1$ degrés de liberté. On démontre que l'approximation est d'autant meilleure que les effectifs $n_i$ sont plus élevés et que $\frac{n_l}{n_k}$ est plus grand, quel que soit k. Dans la mesure du possible, l'échantillon de référence doit donc avoir un effectif supérieur à chacun des effectifs des échantillons qu'on désire lui comparer. Afin d'augmenter le nombre de degrés de liberté de la distribution de $L_\varkappa$, ce qui est toujours recommandable, il convient de partager l'échantillon $(X_{lj})$ en le plus grand nombre possible d'intervalles $I_t$, ce qui revient à prendre $\varkappa = n_l + 1$. Néanmoins, on est limité dans ce sens par le fait que les intervalles $I_t$ doivent contenir suffisamment d'observations afin que l'approximation $\chi^2$ soit valable.

Le choix de $\varkappa$ dépend donc des effectifs des échantillons $(X_{kj})$. D'autre part, la valeur de $\varkappa$ conditionne les propriétés du test. Par exemple, pour $\varkappa = 4$, le test n'est pas consistant relativement aux alternatives H telles que les fonctions de distribution $F_l$ et $F_k$ aient les mêmes quantiles. Par contre, on démontre que pour $\varkappa = n_l + 1$, le test est consistant relativement à toutes les alternatives.

Nous allons illustrer l'emploi du test au moyen d'un exemple numérique. Considérons l'échantillon formé des observations suivantes, ordonnées par valeurs croissantes,

4; 5,5; 10; 12,5; 13; 15,5; 17; 18,5; 20,5; 22 et 24.

Les trois quartiles échantillons sont donc 10, 15,5 et 20,5. On désire comparer à cet échantillon de référence les échantillons suivants :

1: 1,5; 9; 12; 8;
0; 3; 15,5; 8; 22;
12,5; 7; 9; 11; 15;
7,5; 10; 9; 22; 18.

On a $n_1 = 11$, $n' = 20$. Les effectifs $n_k$ ont été choisis égaux afin de faciliter les opérations ultérieures. Il est évident que cela n'est pas indispensable.

Le nombre d'observations $X_{kj}$ inférieures au premier quartile 10 est $U_1 = 11$. On a décidé une fois pour toutes de placer dans l'intervalle interquartile de droite les observations qui coïncident avec les quartiles eux-mêmes. Un choix de $\varkappa$ tel que a ne soit pas entier évite cette anomalie. On vérifie aisément que $U_2 = 5$, $U_3 = 2$ et $U_4 = 2$. Les calculs sont résumés dans le tableau suivant

| t | $U_t$ | $\frac{U_t}{n'}$ | $\left(\frac{U_t}{n'} - \frac{1}{\varkappa}\right)$ | $\left(\frac{U_t}{n'} - \frac{1}{\varkappa}\right)^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 11 | 0.55 | 0.30 | 0.09 |
| 2 | 5 | 0.25 | 0.00 | 0. |
| 3 | 2 | 0.10 | 0.15 | 0.0225 |
| 4 | 2 | 0.10 | 0.15 | 0.0225 |
| | | | | $K_\varkappa = 0.1350$ |
| $n' = 20$ | | | | $I_\varkappa = 10.8$ |

Si on adopte pour niveau de signification une probabilité de 0,05, la table de la distribution $\chi^2$ fournit le seuil correspondant à 3 degrés de liberté, à savoir, 7.815. La valeur observée pour $I_\varkappa$ est donc significative. On rejette donc l'hypothèse $H_0$. L'un au moins des quatre échantillons qu'on a considérés est issu d'une population dont la fonction de distribution est supérieure ou inférieure à $F_1$.

Le problème subsidiaire qui se pose est la détermination du ou des échantillons responsables de la signification. Il faut, cette fois, comparer deux à deux les échantillons $(X_{1j})$ et $(X_{kj})$. Le même test-$K_\varkappa$ peut être utilisé. Cette fois, $n' = n_k$. Comparons par exemple, le premier échantillon $(X_{kj})$ à l'échantillon de référence. Les calculs sont résumés dans le tableau suivant.

| t | $U_t$ | $\frac{U_t}{n'}$ | $\left(\frac{U_t}{n'} - \frac{1}{\varkappa}\right)$ | $\left(\frac{U_t}{n'} - \frac{1}{\varkappa}\right)^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0.8 | 0.55 | 0.3025 |
| 2 | 1 | 0.2 | 0.05 | 0.0025 |
| 3 | 0 | 0.0 | 0.25 | 0.0625 |
| 4 | 0 | 0.0 | 0.25 | 0.0625 |
| | | | | $K_\varkappa = 0,43$ |
| | | | | $I_\varkappa = 8,6$ |

Encore une fois la valeur observée pour $L_x$ dépasse le seuil de signification au niveau 0,05 et avec 1 degré de liberté. On rejette donc l'hypothèse $F_1 = F_2$. On vérifie aisément qu'on ne rejette pas l'hypothèse nulle lorsqu'on compare simultanément les trois derniers échantillons ($X_{kj}$) à l'échantillon de référence. D'ailleurs, on vérifierait de même qu'en testant séparément les hypothèses nulles $F_1 = F_3$, $F_1 = F_4$ et $F_1 = F_5$ on serait amenée à ne pas les rejeter.

D'un point de vue essentiellement pratique, le test-$K_\chi$ pour la comparaison simultanée de plusieurs échantillons à un échantillon de référence, offre surtout des avantages lorsque le nombre d'échantillons à comparer est grand. Il permet de se rendre compte rapidement de l'existence d'un ou plusieurs échantillons dont les populations sont différentes de la population de référence.

## BIBLIOGRAPHIE

[1], VESSEREAU, A., « Méthodes statistiques en biologie et en agronomie », Baillère, Paris, 1948.

[2], VAN DER VAART, H.R., « Directions for the use of Wilcoxon's test », Math. Centrum, Amsterdam.

[3], WHITNEY, D.R., « A bivariate extension of the U statistic », *Annals of Math. Statistics*, 1951, p. 51.

[4], RIJKOORT, « A generalisation of Wilcoxon's test », *Proc. K. Ned. Ak. v. Wet.*, 1952, p. 394.

[5], MASSEY, F.J., « A note on a two sample test », *Annals of Math. Statistics*, 1951, p. 304.

# L'épeautre en alimentation animale

par

L. HENNAUX et R. LECOMTE.

Dans le rationnement du gros bétail destiné à faire carrière de reproducteur, les éleveurs accordent une place d'honneur à l'épeautre qui s'avère manifestement supérieur aux divers grains utilisés dans la pratique courante (avoine, orge, froment, etc.).

C'est là une constatation, à coup sûr empirique, mais dont il n'est logiquement pas permis de se désintéresser, car elle est le fruit de judicieuses observations émanant de spécialistes, experts dans l'art d'apprécier le développement somatique de leur cheptel animal.

Aussi, avons-nous jugé utile de rechercher la nature de l'élément capable d'expliquer la supériorité de l'épeautre sur les autres céréales.

Dans ce but, nous avons effectué de multiples dosages portant sur les éléments énergétiques, minéraux et vitaminiques, contenus dans des échantillons de grains récoltés dans plusieurs régions du pays (région limoneuse, Condroz, Famenne).

Enumérons la liste des produits examinés ainsi que le nombre d'échantillons pour chaque groupe :

orge (13); froment (30); avoine (44); escourgeon (14); épeautre (12): en tout 113 grains.

Pour chaque échantillon, nous avons dosé :

la protéine brute : méthode de KJELDAHL et utilisation du facteur 6,25;

l'extrait éthéré : méthode de SOXHLET;

la cellulose : technique de KÜRSCHNER et HANAK;

les extractifs non azotés : par différence;

le phosphore : réaction au molybdate d'ammonium;

le calcium : méthode de GUILLAUMIN;

le fer : réaction du fer réduit avec les phénantrolines ($\alpha\alpha'$ dipyridile) et mesure au colorimètre en lumière monochromatique de longueur d'onde : 525 mμ;

le cuivre : mesure de la coloration jaune du complexe cuivre-diéthyldithiocarbamate à la longueur d'onde de 436 mμ;

le manganèse : oxydation par action du périodate et mesure de la coloration au spectrophotomètre à 526 mμ de longueur d'onde;

le potassium et le sodium : mesure de l'intensité lumineuse du spectre de flamme de la solution à mesurer aux longueurs d'onde des bandes propres au Na et K, respectivement 590 et 768 mμ;

le magnésium : mesure de la coloration de la laque produite par l'action du magnésium sur le jaune de thiazole (colorimétrie à 515 mμ);

le carotène : chromatographie sur colonne et lecture au spectrophotomètre à 463 mμ;

le tocophérol : méthode d'Emmerie Engel modifiée;

vitamine D : dosage biologique sur rats par la méthode curative et la technique radiographique.

Le tableau suivant (p. 234) donne les valeurs moyennes relevées pour chacun des aliments étudiés.

L'interprétation des résultats obtenus et rapportés dans le tableau ne nous permet pas de tirer la moindre conclusion quant à la supériorité de l'un ou de l'autre de ces grains, pour ce qui concerne leur valeur énergétique, minérale ou vitaminique (carotène et tocophérol).

Par contre, les réponses aux essais de détermination de vitamine D sont nettement significatives.

Les dosages biologiques sur rats ont donné les chiffres moyens suivants en UI/kg :

1 Avoine : 33,2
2 Froment : 0
3 Escourgeon : 66,5
4 Epeautre : 203,7 à 340,7.

En résumé, si nous comparons la valeur alimentaire de l'épeautre à celle des autres grains, sur la base de nombreuses analyses chimiques et biologiques, nous constatons que seul le taux en vitamine D est significativement plus élevé dans le premier.

Etant donné l'importance de ce facteur en nutrition animale, nous nous croyons autorisés dès à présent, à attribuer la valeur particulière de ce grain à sa teneur élevée en cette vitamine.

Toutefois, nous poursuivons nos recherches par la détermination des acides aminés contenus dans les mêmes produits. Les premiers résultats enregistrés, par des méthodes microbiologiques, ne nous permettent pas de tirer la moindre conclusion.

*(Station de Recherches Zootechniques de Gembloux, travail subsidié par l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture IRSIA.)*

| | Orge Condroz | Orge Famenne | Froment Limon | Froment Condroz | Froment Famenne | Avoine Limon | Avoine Condroz | Avoine Famenne | Epeautre Condroz | Epeautre Famenne | Escourgeon Limon | Escourgeon Condroz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nombre d'échantillons | 10 | 3 | 11 | 14 | 5 | 24 | 15 | 5 | 7 | 5 | 8 | 6 |
| Phosphore en mgs kg | 4.587,2 | 4.197 | 4.504 | 4.229 | 4.106 | 4.664 | 4.458 | 3.827 | 4.341 | 4.330 | 4.766,8 | 3.883,5 |
| Calcium » » | 508 | 504 | 542 | 512 | 373 | 795 | 965 | 710 | 522 | 536 | 542 | 453,1 |
| Fer » » | 74,1 | 67 | 52 | 36 | 50 | 88 | 103 | 88 | 90 | 89 | 34,6 | 52,5 |
| Cuivre » » | 5,5 | 3 | 5,3 | 3,7 | 2,5 | 5,3 | 3,6 | 3,8 | 3,6 | 3,2 | 6,0 | 4,3 |
| Manganèse » » | 10,7 | 15,2 | 23,7 | 32 | 28,8 | 27 | 34,6 | 27 | 30,4 | 26,6 | 7,0 | 13,3 |
| Potassium » » | 5.022 | 5.037 | 3.786 | 3.964 | 4.223 | 4.631 | 4.934 | 4.656 | 3.065 | 4.797 | — | 4.509,7 |
| Sodium » » | 235 | 299 | 214 | 123 | 209 | 270 | 211 | 212 | 143 | 220 | — | 201,1 |
| Magnésium » » | 543 | 884 | — | 299 | 233 | — | 631 | 716 | 521 | 850 | 761,2 | 646 |
| Protéines brutes % . . | 9,85 | 11,66 | 9,13 | 9,22 | 10,97 | 11,04 | 10,46 | 11,21 | 10,02 | 10,26 | 9,24 | 7,81 |
| Extrait éthéré % . . . | 1,89 | 1,95 | 1,56 | 1,52 | 1,45 | 4,03 | 3,73 | 3,31 | 1,87 | 1,75 | 1,80 | 1,89 |
| E. N. Az. % . . . . | 67,82 | 64,62 | 70,30 | 70,43 | 67,84 | 60,69 | 59,86 | 58,37 | 62,22 | 61,09 | 68,32 | 69,86 |
| Cellulose % . . . . . | 5,04 | 4,60 | 2,65 | 3,12 | 2,90 | 10,18 | 10,39 | 9,17 | 10,31 | 10,50 | 5,23 | 6,19 |
| Carothène en mgs/kg | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,65 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| Vitamine E » » | 21,4 | 20,7 | 17,1 | 11,1 | 9,7 | 25,5 | 20,9 | 19,9 | 11,3 | 6,2 | 17,4 | 17,4 |

STATION DE RECHERCHES, DE L'ETAT, POUR L'AMELIORATION
DES PLANTES DE GRANDE CULTURE
(Directeur : Em. LAROSE).

# Détermination des taux de Nicotine et de Nornicotine de quelques variétés de Tabac cultivées dans le pays et de quelques Hybrides à l'étude à la Station (*)

par

R. LEGROS,
Chef de Travaux.

A l'heure actuelle, il s'avère utile de distinguer, dans les tabacs à fumer, les teneurs en nicotine des teneurs en nornicotine, ce dernier alcaloïde présentant des propriétés toxiques et pharmacologiques très différentes de celles de la nicotine. De plus, il est maintenant connu que le pourcentage de l'alcaloïde nornicotine passant du tabac à la fumée est notablement inférieur à celui de la nicotine (1). Le dosage de ces deux alcaloïdes dans les différentes variétés de tabac permettra d'évaluer les effets de celles-ci sur les fumeurs.

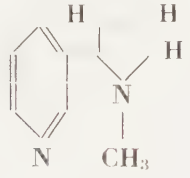
Jusqu'en 1939, le laboratoire de la Station détermina les taux de nicotine des échantillons en suivant la méthode BERTRAND et JAVILLIER (2) (**). A cette époque, on considérait le précipité de silicotungstate, obtenu avec le produit de la distillation par entraînement à la vapeur d'eau des alcaloïdes mis en liberté par la soude, comme étant du silicotungstate de nicotine. En procédant de la sorte, il fut constaté que, suivant les variétés analysées, les précipités présentaient soit l'aspect de paillettes

(*) Déposé à la rédaction, le 28 octobre 1954.

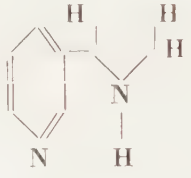
(**) Les déterminations analytiques sur tabac ont commencé à la Station en 1934.

brillantes, soit celui de petits granules mats (*). A la suite de ces observations, on en était venu à considérer qu'il s'agissait d'un caractère variétal. C'est ainsi que les lignées 04 - 07 - 010 - 016 de la Station, provenant de la sélection dans des populations de tabacs de la Semois, donnaient toujours des précipités de silicotungstate d'aspect pailleteux quel que fut le lieu ou l'année de la récolte. Par contre, d'autres lignées 02 - 06 - 09 - 018, provenant également de populations de la Semois, donnaient toujours des précipités d'aspect granuleux. De plus, les sujets à la $F_1$, issus de croisements effectués entre tabacs donnant des types différents de précipités avec l'acide silicotungstique, fournissaient des précipités de silicotungstate d'aspect granuleux. Exemple, 04 ⁄ 06 et 04 × 018. Ce caractère était donc génétiquement dominant.

A partir de 1943, la littérature apporte les premiers éclaircissements sur cette question et des chercheurs établissent que l'on se trouvait en présence de deux alcaloïdes possédant des propriétés chimiques différentes. Leurs propriétés toxiques et pharmacologiques sont également distinctes. Ces deux alcaloïdes répondent aux formules ci-après :



Nicotine.



Nornicotine.

Exploitant cette différence de composition, ces chercheurs sont parvenus à mettre au point des méthodes permettant de les doser séparément. Markwood (3) ainsi que Bowen et Barthel (4) ont proposé des méthodes chimiques. Celles-ci sont basées sur le fait que l'azote de l'anneau pyridique réagit ou non avec l'acide nitreux pour former un composé nitreux. Par le traitement à l'acide nitreux, la nornicotine est convertie en dérivé nitreux tandis que la nicotine n'est pas affectée et peut être distillée à la vapeur d'eau hors d'un mélange comprenant la nitroso-nornicotine non volatile (3). D'autre part, Larson et Haag (1) proposent une méthode de dosage colorimétrique: ces auteurs ont constaté que lorsque du bromure de cyanogène (CN.Br) est ajouté à des solutions diluées de nicotine, il se développe une pâle coloration vert-jaunâtre et que si le

(*) L. VAITZMAN et R. LEGROS, chargés à cette époque de l'étude de l'amélioration des tabacs à la Station n'ont trouvé dans la littérature aucune indication en rapport avec leurs observations. Ils eurent recours à l'obligeance de J. MELON, Chef des travaux de cristallographie et de minéralogie à l'Université de Liège, qui voulut bien se charger de l'examen cristallographique de ces précipités. Il a observé et décrit les différences de cristallisation mais on ne put en déterminer la raison.

même produit est ajouté à des solutions de nornicotine il se développe une coloration rouge. C'est sur ces propriétés différentes des deux alcaloïdes qu'est basée leur méthode.

Bowen et Barthel (5) ainsi que Markwood et Barthel (6) ont proposé des méthodes de classification des tabacs à nicotine, à nornicotine et mixtes; les deux méthodes sont basées sur la différence des points de fusion des picrates de ces alcaloïdes. La première extrait les alcaloïdes des tabacs par entraînement par distillation à la vapeur d'eau; la seconde, épuise les tabacs au benzène. Bien que la détermination d'un point de fusion ne soit pas un procédé de dosage quantitatif, les relations suffisamment approchées entre les teneurs en alcaloïdes connues pour des tabacs ou des solutions et le point de fusion des picrates de ces alcaloïdes volatils à la vapeur sont frappantes (5).

De cet ensemble de procédés de dosages, c'est la méthode chimique proposée par Bowen et Barthel (4) qui a été retenue pour l'analyse des tabacs qui ont été étudiés à la Station. Voici en quoi elle consiste : comme dans le procédé Bertrand et Javillier, on entraîne dans un courant de vapeur d'eau les alcaloïdes (nicotine et nornicotine) mis en liberté par la soude. Sur une partie aliquote du distillat, on précipite ensemble par l'acide silicotungstique la nicotine et la nornicotine. Une autre partie de ce distillat, égale à la première, est traitée par l'acide acétique et le nitrite de soude: il se forme ainsi un dérivé nitreux de la nornicotine fixant ce dernier alcaloïde et l'empêchant de redistiller lorsqu'on soumet le produit de ce traitement, additionné de soude, à une seconde distillation par entraînement à la vapeur d'eau. Cette fois, il n'y a plus que la nicotine qui distille: on la précipite ensuite à l'acide silicotungstique.

Le premier précipité donne le silicotungstate de nicotine plus le silicotungstate de nornicotine; le second donne le silicotungstate de nicotine seul. La différence de poids entre les deux précipités correspond au silicotungstate de nornicotine.

Ainsi s'explique l'aspect différent des précipités de silicotungstate qui avaient été observés antérieurement au cours de nos travaux. Celui qui fut qualifié de « pailleteux » à cause de son aspect « en paillettes brillantes » était le précipité de silicotungstate de nicotine (lignées 04 — 07 — 010 — 016 signalées plus avant). Par contre, celui dont l'aspect était granuleux (lignées 02 — 06 — 09 — 018) était formé de silicotungstate de nornicotine.

Les micro-photos montrent la différence de cristallisation de ces deux précipités.

Chose importante pour les chercheurs que cette méthode de dosage intéresse, les auteurs cités Bowen et Barthel (7) ont mis au point un appareil qui permet de terminer complètement une distillation du mélange « nicotine-nornicotine » par entraînement à la vapeur d'eau en l'espace d'une demi-heure environ. Ceci constitue déjà une grande amélioration par rapport à la méthode Bertrand et Javillier qui requérait

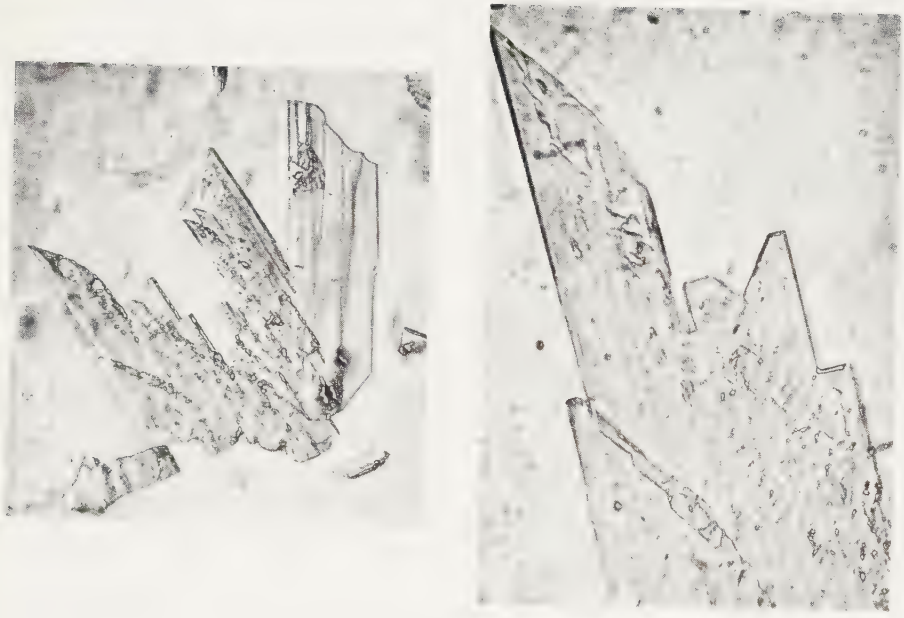
3 heures de distillation pour que soient entraînés tous les alcaloïdes. GRIFFITH et JEFFREY (8) ont fait mieux: ils ont monté un appareil entouré d'un manchon chauffant électrique qui permet de terminer, prétendent-ils, une distillation en l'espace de 5 à 7 minutes.

Pour l'usage de notre Station, un appareil de BOWEN et BARTHEL (7) légèrement modifié a été réalisé. Le diamètre du déflecteur est de 6 cm. L'expérience a montré qu'il y aurait avantage à porter cette dimension à 7 cm. De même il serait intéressant d'allonger le réfrigérant pour atteindre 30 cm.

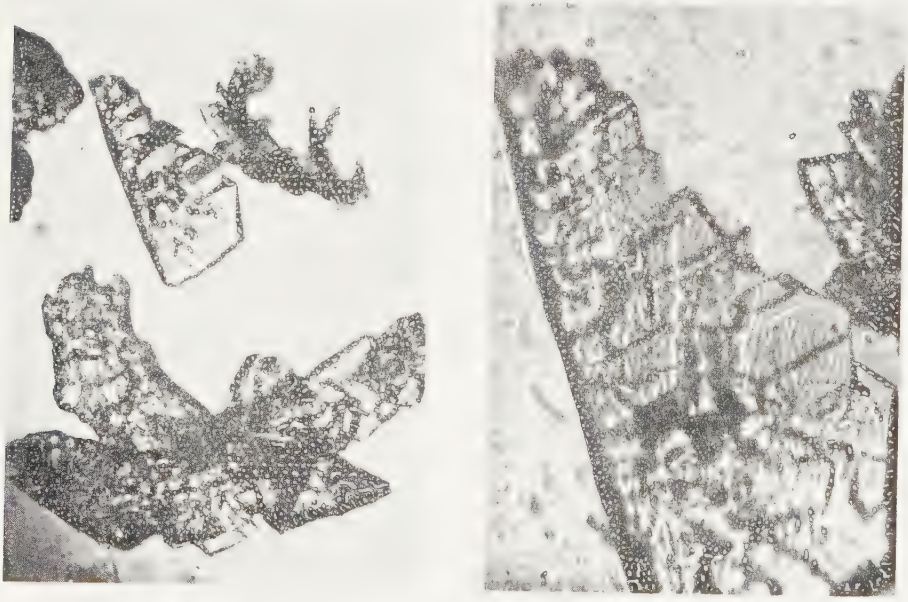
TABLEAU DE L'ANALYSE DE QUELQUES TABACS DE LA RECOLTE 1952.

| Noms des échantillons | Nicotine | Nornicotine |
|---|---|---|
| Philippin (Ech. 158) | 2.99 | 0.36 |
| Lignée 022 de Gembloux | 2.72 | 0.39 |
| Burley, R. | 1.58 | 0.36 |
| H 23.1 hybride de Gembloux | 1.45 | 0.21 |
| H 27.5 hybride de Gembloux | 2.01 | 0.33 |
| Lignée 06 de Gembloux 1 | 0.62 | 2.72 |
| Lignée 06 de Gembloux 2 | 0.68 | 2.24 |
| Lignée 06 de Gembloux 3 | 0.22 | 2.45 |
| Lignée 06 de Gembloux 4 | 0.36 | 1 94 |
| Lignée 06 de Gembloux 5 | 0.07 | 1.44 |
| Lignée 06 de Gembloux 6 | 0.51 | 2.03 |
| Lignée 06 de Gembloux 7 | 0.49 | 2 54 |
| L.8 de Chairière | 0.12 | 2.99 |
| NFT de Forcheim | 0.06 | 2.08 |
| H 17.5 hybride de Gembloux | 0.16 | 2.73 |
| H 27.8 hybride de Gembloux | 0.08 | 1.10 |
| Wessels (Ech. 523) | 0.24 | 0.40 |

Quelques petites modifications ont été également apportées à la méthode de dosage décrite par ces auteurs. Dans un tube à essai, environ 2 g de tabac sont prélevés (au lieu de 2,5 g) et le poids en est exactement déterminé. Ce tube permet de vider, sans risque de pertes, la poudre de tabac dans le fond de la chambre intérieure de l'appareil à distiller. Le distillat obtenu, après concentration, est transvasé dans un ballon de 50 $cm^3$ (au lieu de 25 $cm^3$) et chacun des prélèvements, pour les opération suivantes, est de 20 $cm^3$ (au lieu de 10 $cm^3$). Les creusets de gooch, sont remplacés par des creusets à fond poreux (de porosité maximum) pour filtrer les précipités de silicotungstate. Enfin, au lieu d'être calciné, les précipités sont séchés pendant 3 heures à l'étuve à 105°. Pour le calcul de la nicotine le coefficient à utiliser est 0,1012 et pour la nornicotine 0,0925.



Cristaux de silicotungstate de nicotine.



Cristaux de silicotungstate de nornicotine.

Les constatations qui ont été faites sur les tabacs étudiés à Gembloux, sont les suivantes :

Les résultats d'analyse (voir tableau) montrent qu'il existe des tabacs à fumer riches en nicotine (Philippin — Lignée 022 — Burley R — Les hybrides de la Station H 23.1 et H 27.5) et d'autres riches en nornicotine (Lignée 06 de Gembloux — L.8 de Chairière — NFT de Forcheim et les hybrides de la Station H 17.5 et H 27.8). Certains tels que le NFT de Forcheim et l'Hybride H 27.8 de la Station pourraient même être considérés comme étant « sans nicotine ». Un des tabacs analysés — le Wessels éch. 523 — contient très peu de ces deux alcaloïdes.

Il fut aussi remarqué que si, pour 7 échantillons de la Lignée 06 analysés, les teneurs en ces alcaloïdes sont variables, il y a cependant chaque fois très peu de nicotine et des taux beaucoup plus élevés de nornicotine.

Une autre observation intéressante, c'est que l'hybride H 27.8 de la Station ne contient pratiquement pas de nicotine mais renferme 1,10 % de nornicotine. Par contre, les produits de l'hybride H 27.5, issus du même croisement, dosent 2 % de nicotine et seulement 0,33 % de nornicotine. Ceci semble indiquer que l'un des deux géniteurs était riche en nicotine et l'autre en nornicotine.

## *RESUME*

L'auteur indique les raisons pour lesquelles le dosage séparé de la nicotine et de la nornicotine présente de l'intérêt. Il expose les différentes méthodes de dosage mentionnées dans la littérature et résume celle qu'il a retenue en indiquant les quelques changements qu'il y a apportés. Il relate les résultats des analyses qu'il a effectuées sur quelques variétés cultivées dans le pays et quelques hybrides à l'étude à la Station de Gemboux.

## BIBLIOGRAPHIE

(1) P. S. LARSON et H. B. HAAG (1944). Quantitative determination of nicotine and nornicotine in mixtures.
Ind. Eng. Chem., Anal. Ed. Vol. 16, n° 2.

(2) L. VAITZMAN (1936). Contribution à l'étude chimique des tabacs belges.
Bull. Inst. Agron. et Stat. Rech. Gembloux. Tome V, n°s 3 et 4, page 234.

(3) L. N. MARKWOOD (1943). Quantitative determination of nicotine and nornicotine in mixtures.
Ass. of Off. Agric. Chem. Vol. XXVI, n° 2.

(4) C. V. BOWEN et W. F. BARTHEL (1943). Determination of nicotine and nornicotine in tobaccos.
Ind. Eng. Chem., Anal. Ed. Vol. 15, n° 12.

(5) C. V. BOWEN et W. F. BARTHEL (1944). Classification of tobacco.
Ind. Eng. Chem., Industrial Ed. Vol. 36, n° 5.

(6) L. N. MARKWOOD et W. F. BARTHEL (1943). Tobaccos classified according to nature of their alkaloïds.
Ass. of Off. Agric. Chem. Vol. XXVI, n° 2.

(7) C. V. BOWEN et W. F. BARTHEL (1943). Improved steam distillation apparatus.
Ind. Eng. Chem., Anal. Ed. Vol. 15, n° 9.

(8) R. B. GRIFFITH et R. N. JEFFREY (1948). Improved steam distillation apparatus.
Ing. Eng. Chem., Anal. Ed. Vol. 20, n° 4.

CHAIRE D'ECONOMIE FORESTIERE (AMENAGEMENT)

# A propos d'une loi mathématique simple concernant la structure équilibrée des peuplements forestiers (*) (**)

## Première partie

par

Anne LENGER

*Assistante au Bureau de Biométrie (***)*

La structure et la croissance des peuplements est un problème essentiel et fondamental dont l'intérêt ne cesse de se renouveler et dont l'importance n'échappe à aucun forestier. Déjà pendant la seconde moitié du siècle dernier et le début du nôtre, il a donné matière, tant en France qu'en Suisse, pour ne citer que ces deux pays (Gurnaud, Brenot, de Liocourt, d'Alverny, Schaeffer, ...), à des recherches qui ont abouti notamment à l'élaboration d'un aménagement des futaies jardinées par la méthode bien connue du Contrôle. Cette méthode fut introduite dans la pratique par le Suisse Biolley. Dans notre pays, c'est à M. l'Inspecteur des Eaux et Forêts Colette que revient le mérite de l'avoir adoptée.

De son côté, M. le Professeur H. A. Meyer de l'Université de Pennsylvanie s'est attaché à étudier le problème de l'équilibre des peuplements, de leur structure et de leur croissance (1) (2) (3) (4) (5). C'est d'un aspect de son œuvre qu'il s'agira dans cet article : nous nous sommes proposé d'esquisser en termes simples les bases mathématiques sur lesquelles reposent les travaux de M. Meyer. Il nous a en effet paru intéressant de signaler à l'attention du public forestier de langue française le parti que peuvent en tirer chercheurs et praticiens.

(*) Déposé à la rédaction le 4 novembre 1954.

(**) Etude effectuée sous la direction de M. le Professeur BOUDRU.

(***) Subsidié par l'Institut pour l'encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.).

## Notion de l'équilibre dans un peuplement forestier

S'il est vrai que la tendance actuelle de la sylviculture réagit contre des techniques trop parfaitement artificielles, s'il est vrai qu'elle veuille revenir à une imitation plus fidèle de la nature, sans rien sacrifier cependant à sa raison d'être économique, ni perdre de vue sa volonté de rendre ou de maintenir la forêt productive, nous pensons que la notion de l'équilibre doit être chaque jour mieux définie. Vient ensuite la mise au point de techniques culturales d'autant plus clairvoyantes qu'elles sont mieux étayées par des connaissances, théoriques sans doute, mais solides.

Une forêt est dite en équilibre lorsqu'elle maintient un volume constant et optimum par un renouvellement continuel de ses effectifs à tous les étages ou de tous les âges. Cette définition résume les trois caractéristiques essentielles d'une telle forêt : permanence du peuplement, rendement maximum, répartition bien proportionnée des classes d'âge. Il en découle quatre règles pratiques ainsi définies :

1) Régénération continue, ce qui implique une densité-limite du peuplement;

2) Passage régulier à la futaie, c'est-à-dire remplacement incessant des arbres exploités par les arbres des générations montantes;

3) Répartition bien proportionnée des arbres dans les différentes catégories de circonférence (ou de diamètre);

4) Terme adéquat d'exploitabilité (6).

M. Meyer s'est penché sur le problème en étudiant la structure et la croissance de peuplements mélangés, d'âges multiples, soit vierges, soit aménagés. Un peuplement vierge est sans nul doute le matériel biologique par excellence susceptible de donner une idée assez exacte du comportement d'une forêt en équilibre et son étude présente, de ce chef, un intérêt tout particulier. Il semble évident que de tels peuplements, pour maintenir leur volume, doivent respecter les règles citées précédemment, avec cette différence que le terme d'exploitabilité est remplacé ici par un terme de vitalité, les arbres disparaissant par mort naturelle. Il est évident aussi que les arbres par catégories de circonférence (ou de diamètre) seront d'autant moins nombreux que cette circonférence (ou ce diamètre) sera plus élevée; ceci est vrai, en vertu du principe de renouvellement continu, quel que soit le moment choisi pour opérer le relevé du peuplement. Donc, il suffit d'un seul relevé — à condition de l'effectuer sur une aire suffisamment grande, c'est-à-dire représentative du peuplement — pour déterminer la structure permanente, supposée équilibrée, de la forêt.

## Relevé du peuplement et première représentation graphique

M. Meyer a notamment puisé ses enseignements dans un lambeau de forêt vierge (forêt mélangée de hêtres, bouleaux, érables et tsugas située au Nord de la Pennsylvanie) (2). Il a effectué des relevés dans de nombreuses stations, notant en particulier le nombre d'arbres par classes de

diamètre (mesuré à hauteur d'homme). Nous lui empruntons les données expérimentales dont nous nous servirons à titre d'exemple pour exposer la théorie qui nous occupe (2, p. 471). Nous allons voir comment, à partir de telles données, il est possible de dégager, en utilisant l'*outil* mathématique, une loi générale simple et dans quelle mesure cette dernière est sensée répondre à la réalité biologique.

La station forestière envisagée dans l'exemple repose sur une surface de 21,4 acres, soit 8,66 ha. Elle compte 1.736 arbres dont les diamètres

TABLEAU I.

Inventaire de la Station n° 23, « Tionesta scenic area » de 21,4 acres (Forêt vierge du nord de la Pennsylvanie) (2).

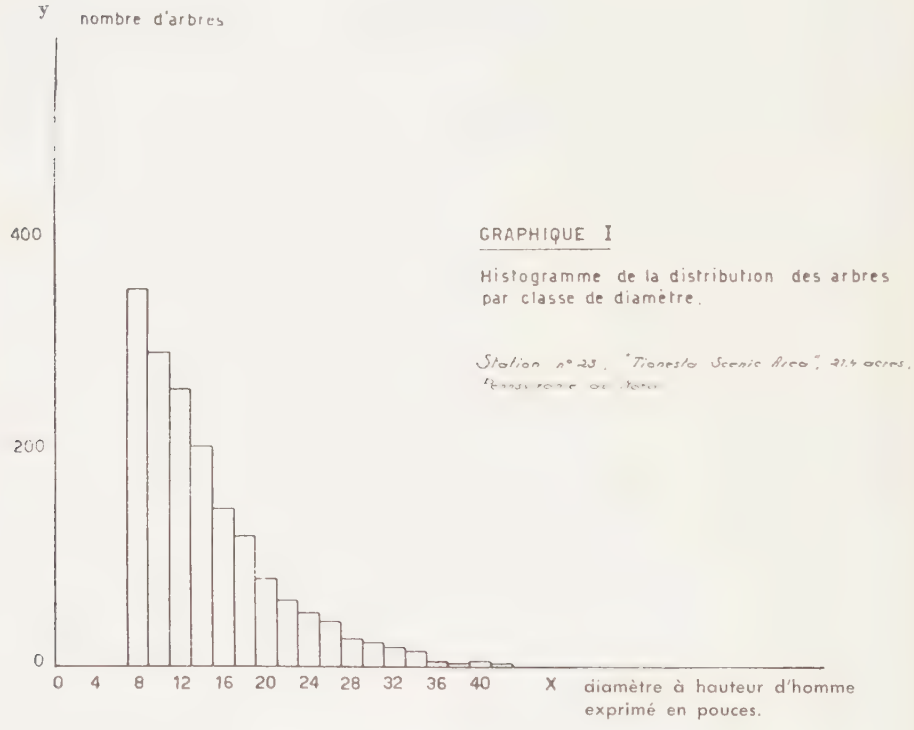
| Diamètres mesurés à hauteur d'homme Centres des intervalles de classes (Valeurs exprimées en pouces) (X) | Nombre d'arbres (Fréquences) (y) |
|---|---|
| 8 | 355 |
| 10 | 295 |
| 12 | 262 |
| 14 | 209 |
| 16 | 150 |
| 18 | 124 |
| 20 | 85 |
| 22 | 65 |
| 24 | 52 |
| 26 | 44 |
| 28 | 27 |
| 30 | 24 |
| 32 | 19 |
| 34 | 15 |
| 36 | 4 |
| 38 | 1 |
| 40 | 4 |
| 42 | 1 |
| | 1736 |

se situent entre 7 et 43 pouces (*); les arbres de diamètre inférieur à 7 pouces n'ont pas été inventoriés. Le relevé complet est présenté dans le tableau I : la première colonne indique le centre des classes de diamètre et l'intervalle de classe choisi est de deux pouces; dans la seconde colonne, est noté le nombre d'arbres appartenant à chaque classe de diamètre. Ce tableau montre clairement que les arbres sont de moins en moins nombreux dans les classes de diamètre de plus en plus élevé. Ceci est un

(*) Pour rappel, le pouce (inche) vaut 2,54 cm.

premier fait d'expérience à propos duquel se pose la question suivante : « Sachant que le nombre d'arbres varie en fonction du diamètre, quelle est la nature de cette fonction ? »

Une transposition graphique des résultats expérimentaux peut nous donner une idée de l'allure du phénomène biologique. C'est après l'avoir analysée que nous verrons par quelle fonction mathématique il est possible de la traduire. Nous représentons donc dans la figure 1 le diagramme (2, p. 469) auquel donne lieu le relevé du tableau I : sur l'axe des X ou abcisse, on a porté la valeur des diamètres de 2 en 2 pouces; l'axe des y




(ordonnée) est réservé au nombre des arbres inventoriés dans les diverses catégories de diamètre. Le diagramme représente une distribution de fréquences (distribution de la fréquence des arbres par classe de diamètre) que l'on appelle *histogramme*. A son sujet, formulons quelques remarques :

1) Le choix de l'intervalle des classes en X est arbitraire. Il est guidé par le souci de mettre en lumière et d'accentuer la forme générale de la distribution. Si l'on avait adopté un intervalle plus grand, l'allure du phénomène serait apparue moins clairement: pour un intervalle plus

petit, elle aurait été masquée par des détails et irrégularités d'intérêt secondaire.

2) Les variables X et y sont une suite discontinue de valeurs donnant lieu par conséquent à un graphique discontinu formé d'une succession de segments de droites disposés en escalier (histogramme), ce qui constitue une figuration déjà élaborée des données expérimentales.

Non groupées en classes de diamètre, elles auraient été représentées graphiquement par un nuage de points.

3) Le diagramme de la figure 1 donne une idée approximative de l'allure du phénomène : on y voit que le nombre d'arbres par classes de diamètre diminue rapidement dans sa première partie et que la chute s'atténue progressivement dans la seconde. Voyons comment ajuster à ce graphique une courbe continue et quelle fonction mathématique simple représentera le phénomène en serrant le plus près possible la réalité biologique.

## Représentation graphique et fonction mathématique continue

## Leur justification biologique

La figure 1 fait apparaître les caractéristiques de structure que l'on peut logiquement attendre d'un peuplement, à savoir :

1° Le nombre d'arbres varie en fonction du diamètre,

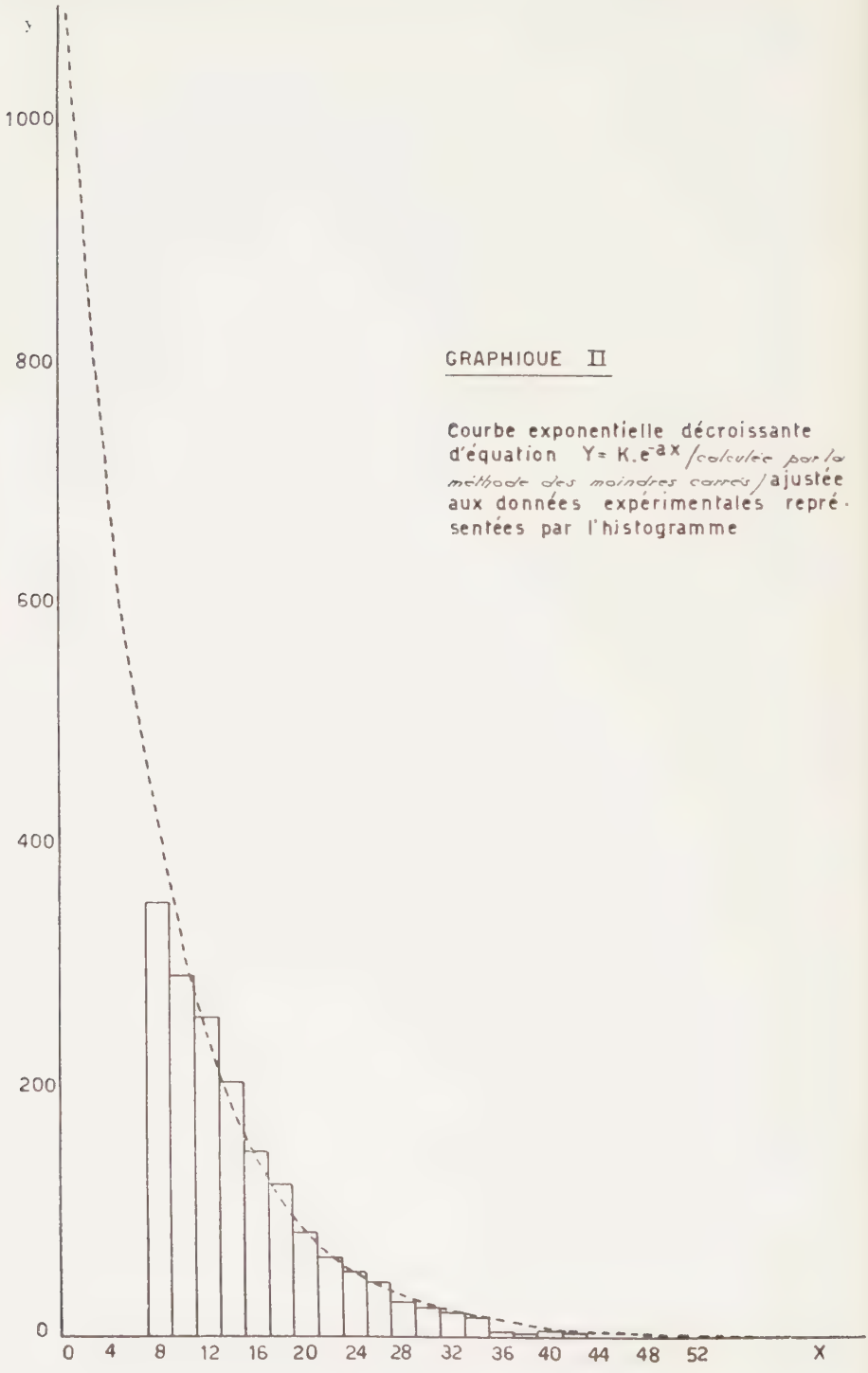
2° Cette fonction est décroissante,

3° La décroissance, rapide au début, s'atténue ensuite,

4° Le diamètre supérieur des arbres est limité (dans l'exemple choisi, la limite est égale à 43 pouces).

M. Meyer (2, p. 469) propose d'ajuster au diagramme une courbe exponentielle décroissante d'équation $Y = K \cdot e^{-aX}$ (e est la base des logarithmes naturels et vaut 2,71828). Il convient ensuite de déterminer la valeur des paramètres a et K de telle manière que la courbe correspondante traduise au mieux les données expérimentales. La figure 2 reproduit cette courbe dont les paramètres ont été calculés par la méthode des moindres carrés (nous développerons cette méthode plus loin) et montre dans quelle mesure elle épouse la forme de l'histogramme de la figure 1. Demandons-nous quelle est la signification des paramètres a et K de l'équation ?

1° K représente le nombre d'arbres de diamètre nul. En effet, lorsque $X = 0$, $e^{-aX} = 1$ et $Y_0 = K$. Il s'agit en fait d'une valeur extrapolée qui peut être l'expression du nombre d'arbres existant à la levée du semis. Elle se justifie biologiquement dans la mesure où elle fixe




GRAPHIQUE II

Courbe exponentielle décroissante d'équation $Y = K.e^{-ax}$ *calculée par la méthode des moindres carrés* ajustée aux données expérimentales représentées par l'histogramme

un maximum au nombre des semis viables, dans une station de structure donnée (*).

2°. L'équation exponentielle $Y = K \cdot e^{-aX}$ peut s'écrire sous la forme

$$\frac{Y}{K} = e^{-aX} \quad \text{ou bien} \quad \ln \frac{Y}{K} = \ln Y - \ln K$$

$$= \ln Y - \ln Y_0 \quad \text{et} \quad \ln Y - \ln Y_0 = -aX.$$

Il en résulte que $-a = \dfrac{\ln Y - \ln Y_0}{X}$.

Appelons ce rapport « vitesse relative d'évolution de Y par unité de diamètre ». Cette vitesse est négative parce que Y est une fonction décroissante.

Une courbe exponentielle admet une asymptote qui est, dans le cas présent, l'axe des X. Cela signifie que le nombre des arbres Y tend vers zéro lorsque le diamètre X tend vers l'infini. En fait, ceci n'a pas de sens au point de vue biologique, car le diamètre des arbres ne peut s'accroître indéfiniment. Il est limité et l'histogramme de la figure 1 nous en donne un exemple. C'est pourquoi il est d'usage de fixer une limite supérieure b aux diamètres de la distribution telle qu'elle cadre avec la fonction exponentielle. Nous verrons plus loin comment il est possible de la calculer.

En résumé, la fonction exponentielle décroissante adoptée par M. MEYER semble se justifier eu égard aux deux principes qui doivent présider à son choix :

1) Simplicité de la fonction mathématique,

2) Justifications suffisantes sur le plan biologique.

Répétons cependant qu'*une telle fonction n'est que la traduction de l'idée que nous avons du phénomène et qu'elle est simplement une approximation, satisfaisante à nos yeux, de la réalité biologique.*

(*) Cette interprétation n'a pas été envisagée par M. MEYER : elle nous est personnelle. Notons que cette estimation du nombre maximum de semis viables, obtenue par extrapolation, n'a qu'une valeur toute relative. Il est possible qu'elle eût été différente — et sans doute plus élevée — si les arbres d'un diamètre inférieur à 7 pouces avaient été inventoriés.

*Transformation semi-logarithmique de la fonction exponentielle décroissante.*

L'équation exponentielle $Y = K \cdot e^{aX}$ peut être simplifiée, au point de vue mathématique, par la transformation logarithmique suivante (*) :

$$\ln Y = \ln K - aX$$

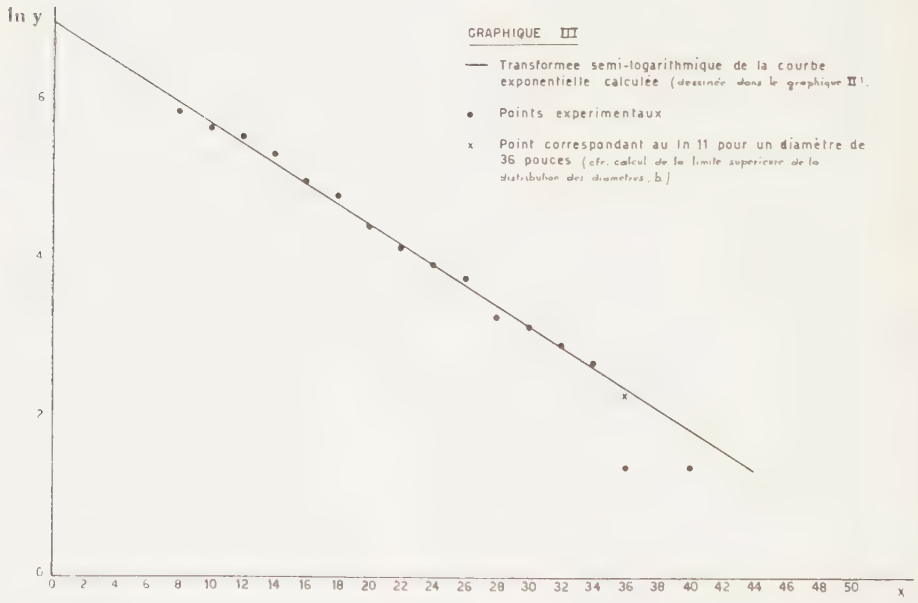
Posons

$$\ln Y = Y'$$
$$\ln K = K'$$

et il vient

$$Y' = K' - aX.$$

Cette équation linéaire, équivalente à l'équation exponentielle dont elle dérive, se traduit graphiquement par une droite dessinée dans la figure 3.




(*) M. MEYER utilise les logarithmes décimaux, ce qui donne la transformation suivante :

$$\log_{10} Y = \log_{10} K \quad a X \log_{10} e$$
$$= \log_{10} K - 0{,}43429\ a X.$$

Nous avons préféré la transformation par les logarithmes népériens (logarithmes en base e) qui nous a paru plus logique étant donné la nature exponentielle de l'équation à simplifier.

*Calcul de b et des paramètres a et K.*

La technique de calcul développée ci-dessous s'applique à l'équation linéaire du paragraphe précédent.

1) Voyons comment l'on détermine la valeur de b, limite supérieure des diamètres de la distribution. Considérons l'exemple déjà envisagé précédemment.

En examinant la figure 3, nous voyons qu'entre 7 et 35 pouces les points expérimentaux s'alignent approximativement sur la droite. Au-delà de 35 pouces, nous remarquons que les points s'en écartent considérablement. Ceci confirme le fait que la fonction mathématique choisie ne traduit le phénomène biologique qu'entre certaines limites. Dans notre exemple, la limite supérieure se situe aux environs de 35 pouces. Voici comment l'on procède pour la définir en fonction des paramètres de la courbe exponentielle, ou de sa transformée semi-logarithmique :

a) On groupe les arbres des classes de diamètre supérieur à 35 pouces dans leur classe de diamètre la plus basse, soit de 36 pouces : on a dès lors 4 + 1 + 4 + 1 (cfr. tableau I), soit 10 arbres dans cette classe.

b) Une légère rectification s'impose ensuite du fait que 6 de ces arbres ont un diamètre supérieur à 36 pouces; ils ont, par conséquent, une surface terrière individuelle supérieure à celle correspondant au diamètre précité. Il convient donc de déterminer combien d'arbres de 36 pouces de diamètre sont nécessaires pour totaliser une surface terrière égale à celle des 10 arbres de diamètre compris entre 36 et 42 pouces.

Dans le tableau II, nous avons calculé la surface terrière totale de ces 10 arbres, soit 11.618 pouces carrés. Or, la surface terrière d'un arbre

TABLEAU II.

Calcul de la surface terrière totale de 10 arbres dont les diamètres sont compris entre 36 et 42 pouces.

| Diamètre en pouces X | Nombre d'arbres y | Surface terrière unitaire en pouces carrés $\pi \cdot (X/2)^2$ | Surface terrière par classes de diamètre en pouces carrés $y \cdot (\pi \cdot X^2/4)$ |
|---|---|---|---|
| 36 | 4 | 1017,87516 | 4071,50064 |
| 38 | 1 | 1134,11399 | 1134,11399 |
| 40 | 4 | 1256,63600 | 5026,54400 |
| 42 | 1 | 1385,44119 | 1385,44119 |
| | | | 11617,59982 |

de 36 pouces de diamètre valant 1.018 pouces carrés, il en faudrait 11.618/1.018 = 11.41, soit 11 pour couvrir la surface terrière réellement existante.

Nous avons porté dans la figure 3 le point correspondant au ln 11 pour un diamètre de 36 pouces. Nous voyons que ce point se situe approximativement sur la droite. Dès lors, la limite supérieure des diamètres de la distribution, b = 37 pouces, peut être adoptée (37 pouces indiquent la limite supérieure de la classe dont le centre est de 36 pouces).

2) Nous sommes à présent en mesure de déterminer la valeur des paramètres a et K. Ce calcul est basé sur la « Méthode des Moindres Carrés ».

L'ajustement d'une droite à des points expérimentaux par la « Méthode des Moindres Carrés » doit être tel que la somme des carrés des écarts de ces points par rapport à la droite soit minimum. L'équation de la droite étant $Y' = K' - aX$, les écarts valent $y' - Y'$ (*), soit $y' - (K' - aX)$.

Le principe de la « Méthode des Moindres Carrés » veut que la somme des carrés de ces écarts soit minimum, ce qui s'exprime comme suit :

$$S\ (y' - K' + aX)^2 = \text{minimum.}$$

Pour que cette somme soit minimum, il faut que ses dérivées partielles par rapport aux paramètres a et K' soient nulles :

$$\frac{\partial}{\partial K'} S\ (y' - K' + aX)^2 = 2\ S\ (y' - K' + aX)\ .\ (-1) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial a'} S\ (y' - K' + aX)^2 = 2\ S\ (y' - K' + aX)\ .\ (X) = 0$$

Nous obtenons un système de deux équations à deux inconnues a et K' :

$$S\ y' - n\ K' + a\ SX = 0$$
$$S\ Xy' - K'\ SX + a\ SX^2 = 0\ (**)$$

Soit

$$S\ \ln y - n\ .\ \ln K + a\ SX = 0$$
$$S\ X\ \ln y - \ln K\ .\ SX + a\ SX^2 = 0$$

(*) $y' = \ln y$ ordonnée des points expérimentaux (ln = log. nép.)
$Y' = \ln Y$ ordonnée des points situés sur la droite calculée d'équation $\ln Y = \ln K - a\ X$.

(**) n = nombre total des points expérimentaux ou observés d'ordonnée y représentés dans le graphique 3.

En résolvant ce système d'équations, nous obtenons

$$\ln K = \frac{SX^2 \,.\, S \ln y - SX \,.\, S\, X \ln y}{n\, SX^2 - (SX)^2}$$

$$a = \frac{S \ln y \,.\, SX - n \,.\, SX \ln y}{n \,.\, SX^2 - (SX)^2}$$

En appliquant ces formules aux données expérimentales de notre problème, nous arrivons aux résultats suivants :

$$K = 1148{,}7$$
$$a = 0{,}12912 \ (*)$$

Le détail de ces calculs est donné dans le tableau III et la droite calculée sur la base de ces résultats est celle de la figure 3.

TABLEAU III.

Calcul des paramètres a et K.

| Diamètre mesuré à hauteur d'homme<br>Centre des classes<br>X | Nombre d'arbres par classes de diamètre<br>y | ln y | X ln y | $X^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 8 | 355 | 5,87212 | 46,97696 | 64 |
| 10 | 295 | 5,68698 | 56,86980 | 100 |
| 12 | 262 | 5.56834 | 66,82008 | 144 |
| 14 | 209 | 5,34233 | 74,79262 | 196 |
| 16 | 150 | 5,01064 | 80,17024 | 256 |
| 18 | 124 | 4,82028 | 86,76504 | 324 |
| 20 | 85 | 4,44265 | 88,85300 | 400 |
| 22 | 65 | 4,17439 | 91,83658 | 484 |
| 24 | 52 | 3,95124 | 94,82976 | 576 |
| 26 | 44 | 3,78419 | 98,38894 | 676 |
| 28 | 27 | 3,29584 | 92,28352 | 784 |
| 30 | 24 | 3,17805 | 95,34150 | 900 |
| 32 | 19 | 2,94444 | 94,22208 | 1024 |
| 34 | 15 | 2,70805 | 92,07370 | 1156 |
| 36 | 11 | 2,30790 | 83,08440 | 1296 |
| 330 | 1737 | 63,08744 | 1243,30822 | 8380 |

$$\ln K = \frac{SX^2 \,.\, S \ln y - SX \,.\, S\, X \ln y}{n\, SX^2 - (SX)^2}$$

$$= \frac{(8.380 \times 63{,}08744) - (330 \times 1243{,}30822)}{(15 \times 8.380) - (108.900)} = 7{,}04649$$

(*) M. MEYER trouve les valeurs K = 1127,1 et a = 0,1280 par les logarithmes décimaux pour lesquels il se contente de 3 décimales.

$$a = \frac{S \ln y \,.\, SX - n \,.\, S\, X \ln y}{n\, SX^2 - (SX)^2} = \frac{(63{,}08744 \times 330) - (15 \times 1243{,}30822)}{16.800} = 0{,}12912$$

K = 1148.7

Etant donné que le coefficient K se rapporte à un peuplement couvrant 21,4 acres, soit 8,66 ha, sa valeur ramenée à l'ha est de 1148,7 8,66 = 133 et, suivant l'hypothèse émise précédemment, on pourrait s'attendre, par extrapolation, à avoir 133 semis viables par ha dans la station étudiée.

Nous avons noté dans le tableau IV le nombre d'arbres par catégorie de diamètre (exprimé en centimètres) et par ha existant dans la station, soit y/8,66, ainsi que le nombre d'arbres Y/8,66 calculé en vertu de la loi exponentielle adoptée par M. MEYER pour définir la structure d'un peuplement en équilibre.

TABLEAU IV

| Centres des classes de diamètre | | Nombre d'arbres existant par classes de diamètre et par hectare | Nombre calculé d'arbres par classes de diamètre et par hectare |
|---|---|---|---|
| en pouces | en cm | y/8,66 | Y/8,66 |
| 0 | 0,00 | | 133 |
| 2 | 5,08 | | 102 |
| 4 | 10,16 | | 79 |
| 6 | 15,24 | | 61 |
| 8 | 20,32 | 41 | 47 |
| 10 | 25,40 | 34 | 36 |
| 12 | 30,48 | 30 | 28 |
| 14 | 35,56 | 24 | 22 |
| 16 | 40,64 | 17 | 17 |
| 18 | 45,72 | 14 | 13 |
| 20 | 50,80 | 10 | 10 |
| 22 | 55,88 | 8 | 8 |
| 24 | 60,96 | 6 | 6 |
| 26 | 66,04 | 5 | 5 |
| 28 | 71,12 | 3 | 4 |
| 30 | 76,20 | 3 | 3 |
| 32 | 81,28 | 2 | 2 |
| 34 | 86,36 | 2 | 2 |
| 36 | 91,44 | 1 | 1 |
| | | 200 | (204) |

Nous livrons ce tableau aux réflexions des forestiers désireux d'établir des comparaisons entre cet exemple et les peuplements qu'ils ont l'habitude de rencontrer en Europe.

## Bref aperçu de la relation qui lie les divers coefficients entre eux

La théorie que nous venons d'exposer trouve son application, non seulement dans la détermination de la structure équilibrée des peuplements, mais aussi dans la comparaison de diverses stations forestières entre elles. Il suffit, dans ce cas, de comparer les valeurs numériques des coefficients calculés pour chaque station. M. Meyer a prouvé (2, pp. 472-479) qu'il existe une relation très étroite entre eux, se basant sur de nombreux relevés effectués tant en Pennsylvanie que dans des forêts vierges d'altitude au Mexique et dans les forêts aménagées en Suisse. Résumons quelques-unes de ces conclusions :

1) Haute corrélation liant les coefficients a et K : les valeurs élevées de a sont associées à des valeurs élevées de K.

2) Considérons deux peuplements de même coefficient a dont on veuille comparer la structure : le peuplement dont la valeur du coefficient K est élevée sera relativement plus dense que celle du peuplement dont le coefficient K est de valeur moindre.

3) La limite supérieure des diamètres de la distribution b est également liée aux valeurs de K et a, mais elle leur est inversement proportionnelle : à des petites valeurs de a correspondent des grandes valeurs de b, et inversement.

4) Il est souvent intéressant de considérer le relevé partiel de chaque essence dans les diverses stations. On peut s'attendre à voir la proportion d'arbres longévifs et de première grandeur augmenter lorsque a diminue.

5) Le nombre total d'arbres par ha diminue lorsque a et K diminuent.

6) Par contre, en général, le volume total par ha augmente dans ce cas. Cette augmentation résulte d'un accroissement proportionnellement très important du volume total des gros bois que la diminution des petits et moyens bois ne réussit pas à compenser. Cependant, il semble que cette relation entre le coefficient a et le volume total des arbres par ha se renverse à un moment donné : tandis que a continue de diminuer, le volume total cesse de s'accroître, atteint un maximum, puis diminue.

L'étude mathématique de ces relations fera l'objet de la seconde partie de notre travail.

## Conclusion

La loi exponentielle que nous venons de traiter est une loi générale simple qui définit, de manière satisfaisante à nos yeux, la structure des peuplements en équilibre. Elle traduit l'idée que, sur la base de certaines expériences, nous nous sommes forgée concernant de tels peuplements.

Donc, pour maintenir l'équilibre d'une futaie jardinée, il convient de respecter la forme *générale* de la fonction exponentielle qui définit la distribution des arbres dans les différentes classes de diamètre.

Cependant, il peut exister une infinité de peuplements divers soumis à cette loi, au même titre qu'il existe une infinité de courbes répondant à l'équation exponentielle la traduisant. En effet, les paramètres a et K, ainsi que les autres caractéristiques auxquelles nous avons fait allusion dans notre exposé, sont différents d'une station à l'autre, et *peuvent varier au cours du temps dans une même station.*

Le rôle du forestier est de leur destiner une valeur qui lui convienne - eu égard aux exigences économiques et culturales dont il doit tenir compte — et de modeler le peuplement en conséquence, par des techniques appropriées, tout en maintenant sa structure équilibrée.

## BIBLIOGRAPHIE

(1) MEYER, H. A. — Eine mathematisch-statistische Untersuchung über den Aufbau des Plenterwalders. *Schweiz. Zeitschr. f. Forstw.*, pp. 33-46, 88-103, 124-131. 1933.

(2) MEYER, H. A. and STEVENSON, D. D. — The Structure and Growth of virgin Beech-Birch-Maple-Hemlock Forests in Northern Pennsylvania. *Journ. Agri. Res.* 67, pp. 465-484. 1943.

(3) MEYER, H. A. — Vorratszunahme und Nutzung im ungleichaltrigen Wald. *Schweiz. Zeitschr. f. Forstw.*, pp. 119-132. 1951.

(4) MEYER, H. A. — Structure, Growth and Drain in Balanced Unevenaged Forests. *Journ. Forestry*. 50, pp. 85-92. 1952.

(5) MEYER, H. A — Forest Mensuration. *Penns, Valley Publishers, State College, Pennsylvania.* 1953.

(6) BOUDRU, M. — Cours d'économie forestière (Aménagement) : « Méthode du Contrôle ». *Institut agronomique de l'Etat, Gembloux.* 1953.

CHAIRE DE PEDOLOGIE

# Un aspect du problème du Bilan de l'Eau dans le Sol : Les données de PENMAN sur l'Evaporation en conditions naturelles

par

G. MANIL (*)

PLAN DE LA NOTE

A. INTRODUCTION.

B. EXPOSE DES IDEES DE PENMAN.

I. Postulats de base.

II. Les principes de base :

— Point de vue aérodynamique,

— Point de vue énergétique,

— Combinaison des deux précédents.

(Application à une nappe d'eau libre.)

III. Conditions d'application à une couverture végétale saturée en eau.

IV. Cas des surfaces non saturées.

C. — QUELQUES CONCLUSIONS.

— COMMENTAIRES.

— DEUX APPLICATIONS A LA BELGIQUE.

(*) Note rédigée après un voyage d'étude effectué en juin 1954 à la Rothamsted Experimental Station (Physics Department). Ce voyage était subsidié par l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.).

## A. INTRODUCTION

Le problème de l'eau du sol est un des plus importants qui soit pour le pédologue.

En effet, c'est l'économie du sol en eau qui, pour une roche-mère donnée, conditionne le type et degré d'évolution du profil; c'est l'économie du sol en eau qui détermine pour une large part le potentiel agronomique ou forestier d'un sol considéré.

Aussi, le problème de l'eau a-t-il suscité d'innombrables travaux, mais qui sont encore loin de donner une réponse complète aux différentes questions posées et spécialement celles relevant de l'écologie pratique.

Il est vrai que les investigations se heurtent à des difficultés foncières résultant, par exemple, de l'hétérogénéité du sol et de notre ignorance sur les possibilités exactes du prélèvement d'eau par le système radiculaire des végétaux qui nous intéressent.

Il est très malaisé, entr'autre, de définir la profondeur d'action du système radiculaire d'une couverture vivante donnée.

Les essais en vases de végétation ont apporté une importante contribution scientifique: mais les résultats en sont difficilement transposables en conditions naturelles, au sein desquelles, il n'apparaît pas possible de dissocier les influences respectives de chacun des composants du système — sol, plante, atmosphère.

En fait, le chercheur se trouve devant deux tendances :

— *La première* que nous pouvons appeler *analytique*.

Elle consiste à utiliser des techniques précises pour effectuer des mesures intéressant l'état hydrique de certaines portions restreintes et bien déterminées du sol.

Cette première tendance, se heurte fréquemment à des difficultés techniques qui peuvent être insurmontables (cas des sols caillouteux), ou offre des résultats difficilement transposables à de grandes étendues.

*La seconde* ou *synthétique* vise à établir directement une résultante générale s'appliquant à de grandes surfaces. Elle est incapable toutefois de résoudre des problèmes de détail.

Les travaux de PENMAN appartiennent certainement à la seconde tendance (*).

(*) Pour un exposé plus général d'intérêt écologique des mesures de l'évaporation et pour une application à la Belgique de la méthode PENMAN nous renvoyons le lecteur au travail suivant publié dans le même bulletin :

*Quelques données sur l'évaporation et les déficits en eau en Belgique*, par J. CALEMBERT.

*Avant d'en exposer les grandes lignes, il convient d'insister sur le fait que ces travaux, avant tout d'ordres physique et météorologique, ont été entrepris et résolus dans le but de trouver une solution pratique à des problèmes d'irrigation et non dans le but de répondre à des questions précises d'ordres écologiques ou pédologiques.*

Cependant de par l'information qu'elles peuvent donner au pédologue sur certains aspects très généraux de l'économie du sol en eau, nous avons estimé de plus haut intérêt de prendre connaissance sur place des opinions et publications des auteurs MM. SCHOFIELD et PENMAN.

La plupart des idées reprises ci-après sont extraites des travaux que nous avons consultés et dont la liste figure en annexe bibliographique.

Nous n'entrerons pas dans le détail de développement des calculs qui relèvent de la physique ou de la météorologie, bornant le plus possible nos commentaires au point de vue pédologique.

## B. BREF EXPOSE DES IDEES DE PENMAN

### I. — Postulats de base

L'auteur part de deux postulats de base :

1) *Quand l'apport d'eau par le sol n'est pas un facteur limitant, le rôle de la plante dans la transpiration est purement passif et consiste à fournir des canaux conducteurs de l'eau depuis le sol jusqu'à l'atmosphère.*

2) *Un maximum de transpiration est une condition nécessaire pour un maximum de croissance.*

Le second postulat est exclusivement physiologique. Le premier, par contre, exige quelques commentaires pédologiques, car il fait allusion à un état hydrique du sol permettant à la plante de s'alimenter en eau selon tous ses besoins. Considérons trois définitions :

a) FIELD CAPACITY (f. c.).

Les écologistes et pédologues sont d'accord pour noter que la teneur en eau la plus favorable pour les besoins des végétaux correspond à la *field capacity*. Cette grandeur est définie par la quantité maximum d'eau que le sol peut retenir après l'élimination de l'humidité mobilisable par simple gravitation.

Cette notion n'est pas aussi simple en fait qu'on pourrait le croire. En voici quelques raisons :

— a) Pour beaucoup de sol, une forme lente de drainage par gravitation peut se poursuivre longtemps après le drainage rapide du début du ressuyage naturel.

— b) La température du sol intervient en modifiant la viscosité de l'eau.

— c) Comme les travaux d'EMERSON du Physics Department de Rothamsted l'ont montré, il faut tenir compte également du phénomène de gonflement (swelling) qui fait augmenter avec le temps le pouvoir rétentif des argiles.

— d) Si nous considérons le sol, dans ses conditions naturelles de gisement, il est difficile d'accorder un sens précis à ce concept, vu notre ignorance des conditions d'exploitation de l'eau de la terre par les différentes parties du système radiculaire des végétaux.

En conséquence, comme nous le verrons à la fin de ces notes, il est nécessaire de préciser le sens accordé au terme *field capacity*, à savoir s'il concerne le sol en place ou un volume très limité de terre (vase de végétation) très uniformément et complètement fouillé par les racines.

Notons maintenant deux notions nouvelles introduites par les auteurs :

b) LE « DEFICIT EN EAU DU SOL » (SOIL MOISTURE DEFICIT).

Le « *déficit en eau du sol* » défini comme la quantité d'eau nécessaire pour restituer au sol la teneur en eau correspondant à la *field capacity* (par pluie naturelle ou irrigation) (11).

Pour avoir une unité pratique de mesure valable aussi bien pour définir un état hydrique du sol, une quantité de pluie ou un apport d'eau par irrigation, les auteurs utilisent comme *unité* une *épaisseur donnée d'une lame d'eau répartie uniformément sur la surface considérée.*

c) LA « CONSTANTE RADICULAIRE » (ROOT CONSTANT OU ROOT RESERVE).

Si nous suivons la dessiccation progressive d'un sol au départ de la *field capacity*, il est possible d'observer que, jusqu'à un certain déficit en eau la vitesse de transpiration des végétaux ne subit aucune altération. Il n'y a donc pas ralentissement de croissance. Il est d'ailleurs normal de penser que, jusqu'à un certain point de dessiccation, l'énergie déployée par l'activité radiculaire est à même de vaincre l'énergie de rétention du sol pour l'eau sans inconvénient physiologique.

La *root constant* que nous avons traduit « *constante radiculaire* » mesure précisément ce déficit en eau qui n'amène pas de ralentissement d'évaporation ou de croissance. Elle correspond à la notion éco-pédologique *d'eau le plus facilement utilisable.*

Cette constante s'exprime également par l'épaisseur d'une lame d'eau supposée uniformément répartie sur une surface considérée.

Comme PENMAN l'écrit lui-même (16), cette notion est spéculative, mais comme il le constate pratiquement, les valeurs qu'il a déterminées n'apparaissent pas biologiquement déraisonnables.

Jusqu'à présent, la seule couverture végétale pour laquelle cette constante a pu être déterminée avec une certaine précision est le gazon (PENMAN — 20). Sa valeur peut varier de 75 à 125 mm (3 à 5 inches).

PENMAN estime en outre que les plantes cultivées à faible enracinement ou les semis de toute sorte peuvent avoir une constante de l'ordre de 25 à 50 mm (1 à 2 inches), alors que les végétaux à enracinement profond, les arbres par exemple, peuvent atteindre 200 à 250 mm ou plus (7,5 à 10 inches).

Parmi les conditions du milieu qui peuvent influencer les valeurs de la « *constante radiculaire* » citons avec l'auteur (PENMAN — 20) l'exemple d'un terrain gorgé d'eau pendant une partie de l'année.

Le système radiculaire des végétaux, même pérennes, se trouve confiné superficiellement et par conséquent, mal adapté à puiser l'eau des couches profondes. Dans de telles conditions, la *root constant* sera considérablement réduite par rapport aux valeurs obtenues en drainage normal.

PENMAN précise que les valeurs de cette « *constante radiculaire* » doivent être déterminées expérimentalement pour chaque cas précis, c'est-à-dire pour chaque type de végétation.

L'auteur a eu l'occasion de tester l'objectivité de certaines valeurs proposées à l'aide de chiffres expérimentaux livrés par les recherches à la ferme de l'Université de Cambridge. Une très bonne corrélation s'établit entre les résultats expérimentaux et les chiffres déterminés par calcul. Pour une période de 7 ans, PENMAN a pu reconstituer avec beaucoup de précision les périodes de fonctionnement des drains en partant de données météorologiques courantes et en utilisant la « *constante radiculaire* ».

Comme il apparaît déjà par les considérations précédentes, PENMAN (10, 20) admet que la *root constant* est avant tout une caractéristique végétale et se trouve relativement peu influencée par les qualités du sol (toutes autres conditions étant égales), par suite de la faculté d'adaptabilité que possède le système radiculaire d'une plante donnée en conditions normales, modifiant son extension suivant la texture ou la structure de son substrat édaphique. Même une modification notable de la *field capacity* n'aura pas beaucoup d'influence.

Pour agir sur la « *constante radiculaire* », il faut donc agir sur le comportement du végétal (modes de traitement, de fumure, de travail du sol pour un couvert donné, ou conditions météorologiques spécialement au début de la période de végétation).

## II. — Principes de base

Après les postulats de base énoncés précédemment, PENMAN fixe les principes essentiels qui ont guidé ses recherches :

A. *Quand l'apport d'eau n'est pas le facteur limitant, la vitesse de transpiration des végétaux est déterminée par les conditions météorologiques du moment.*

B. *Si l'on fait abstraction d'effets mineurs, cette vitesse, connue comme « vitesse potentielle de transpiration », est la même pour toutes les couvertures végétales de faible hauteur ayant sensiblement la même couleur et couvrant complètement le sol.*

C. *La « vitesse potentielle de transpiration » est moindre que la vitesse d'évaporation au départ d'une nappe d'eau libre exposée aux mêmes conditions climatiques.*

Le mérite de PENMAN est d'avoir fixé une formule d'évaporation qui ne fait appel qu'à des données météorologiques courantes. Nous allons exposer brièvement la méthode employée en signalant qu'un développement beaucoup plus complet est à lire dans les ouvrages originaux (PENMAN, 7 - 8).

Deux conditions sont nécessaires pour avoir une évaporation continuelle. Il faut, tout d'abord, un apport d'énergie, pour la raison bien simple que l'évaporation consomme de l'énergie (point de vue énergétique).

Il faut ensuite une différence de tension de vapeur entre la surface d'évaporation et l'atmosphère au-dessus de cette surface, de manière à maintenir un flux permanent de vapeur (point de vue aérodynamique).

Avec l'auteur (6), nous allons examiner ces points de vue en commençant par le second pour la facilité de l'exposé :

## 1. — POINT DE VUE AERODYNAMIQUE

Supposons une surface d'eau libre avec une température de surface $T_s$ et une pression de vapeur saturée $e_s$. L'air situé au-dessus de la nappe n'est normalement pas saturé. Soit sa température $T_a$ à la hauteur considérée avec la pression de vapeur correspondante $e_d$.

Un flux de vapeur peut prendre naissance à une vitesse proportionnelle à $(e_s - e_d)$, le facteur actuel de proportionnalité dépendant des conditions atmosphériques réglant la vitesse de diffusion turbulente. Dans le cas présent, l'auteur admet que ce facteur peut être déterminé par la composante horizontale de la vitesse du vent (u).

L'évaporation au départ d'une nappe d'eau libre sera donc : $E_o = f(u)(e_s - e_d)$. Signalons dès à présent que la valeur f (u) est très difficile à déterminer.

## 2. — POINT DE VUE ENERGETIQUE

L'énergie qui se transforme lors des phénomènes d'évaporation provient en dernière analyse de l'énergie de radiation solaire. Le problème qui se pose est de déterminer quelle est la quantité d'énergie retenue à la surface ou près de la surface du sol pouvant être utilisée pour l'évaporation.

Cela revient à déterminer ce que PENMAN appelle le *Heat Budget*. Il est possible d'écrire :

$H = R_c\ (1 - r) - R_b$ où,

$R_c$ = radiation à courte longueur d'onde provenant du soleil et des nuages.

r = coefficient de réflection, variant avec la nature de la surface d'incidence.

Nous pouvons négliger la fraction utilisée pour la photosynthèse, de l'ordre de 1 %. D'où la fraction réellement incidente est, $R_c\ (1 - r)$.

$R_b$ = représente la partie perdue par la surface du sol sous forme de rayonnement à grande longueur d'onde.

Il faut étudier maintenant comment est utilisé ce *Heat Budget*. Nous pouvons écrire, en utilisant les notations de CUMMINGS et RICHARDSON :

$$H = E + K + S + C \text{ où}$$

E = énergie utilisée pour l'évaporation,
K = pour l'échauffement de l'atmosphère,
S = pour l'échauffement de l'eau à évaporer,
C = pour l'échauffement du milieu contenant l'eau.

En considérant des périodes assez longues (au moins 1 jour), on peut négliger S + C, d'où : H = E + K.

Rappelons maintenant que les transports turbulents de la vapeur d'eau et de la chaleur sont régis par des lois semblables :

— pour la vapeur d'eau : $E = f\ (u)\ (e_s - e_d)$,

— pour la chaleur : $K = \gamma\ f\ (u)\ (T_s - T_a)$.

d'où : $$K/E = \gamma \frac{T_s - T_a}{e_s - e_d}$$

Assimilant l'ensemble du système à un vaste psychromètre, nous pouvons écrire $K/E = \beta$, $\beta$ étant le rapport de BOWEN et $\gamma$ étant une constante = 0,27 quand la température est exprimée en °F et en mm Hg. D'où :

$$K/E = \beta = 0{,}27 \cdot \frac{T_s - T_a}{e_s - e_d}$$

Or, $$H = E + K = E\ (1 + \beta) \text{ ou } E = \frac{H}{1 + \beta}$$

*Ainsi défini, le point de vue énergétique s'applique aussi bien à des surfaces saturées qu'à des surfaces non saturées.*

Cependant, jusqu'à présent, le calcul de E exige la connaissance de la température de surface qui ne se trouve pas dans les données météorologiques courantes et qui d'ailleurs est très difficile à déterminer.

En combinant les points de vue aérodynamique et énergétique PENMAN est parvenu à éliminer cette valeur. Toutefois, les résultats obtenus ne sont applicables qu'à des surfaces saturées.

Rappelons l'équation aérodynamique du début :

$$E_o = f(u)\ (e_s - e_d)$$

Nous pouvons connaître la température de l'air $T_a$ à l'aide de données courantes. Pour cette valeur correspondra une pression de vapeur saturée $e_a$, d'où en introduisant ces deux nouvelles valeurs dans l'équation précédente, nous aurons :

$$E_a = f(u)\ (e_a - e_d) \text{ d'où } \frac{E_o}{E_a} = \frac{(e_s - e_d)}{(e_a - e_d)} \quad (x)$$

$$\text{et } E_o - E_a . \frac{(e_s - e_d)}{(e_a - e_d)}$$

$$\text{or, } E_o = \frac{H}{1 + \beta} \text{ et } \beta = 0{,}27 . \frac{T_s - T_a}{e_s - e_d}$$

d'où,

$$E_o = \frac{H}{1 + 0{,}27 . \dfrac{T_s - T_a}{e_s - e_d}} = \frac{H}{1 + \dfrac{0{,}27}{\triangle} . \dfrac{e_s - e_a}{e_s - e_d}} \quad (y)$$

$\triangle$ est la pente (tangente) de la courbe — pression de vapeur, température — à la température $T_a$ . ($T_a$ et $T_s$ étant suffisamment proches).

Eliminant $e_s$ dans les équations (x) et (y), nous obtenons :

$E_o$ $\dfrac{0{,}27\ E_a + \triangle\ H}{0{,}27 + \triangle}$ qui peut être calculé en fonction des données météorologiques courantes énumérées ci-après :

— température moyenne de l'air,

— pression de vapeur moyenne de l'air,

— vitesse moyenne du vent,

— durée moyenne d'insolation par jour.

Cette dernière formule est le plus aisément applicable à une nappe d'eau libre.

## III. CONDITIONS D'APPLICATION A UNE COUVERTURE VEGETALE SATUREE EN EAU

Pour l'appliquer à une couverture végétale l'auteur utilise comme coefficient le rapport $\frac{E_T}{E_O} = f$ plus ou moins expérimental et empirique qui donne de bons résultats en pratique, dans lequel :

$E_T$ = *évaporation* ou *transpiration potentielle* d'une surface végétale.

$E_O$ = évaporation au départ d'une nappe d'eau libre.

L'influence d'une végétation si on la compare à une nappe d'eau libre, introduit les facteurs suivants :

a) coefficient de réflection différent,

b) apparition du facteur stomate, lui-même sous la dépendance de la longueur du jour.

En nous rappelant le troisième principe de base exposé en tête de ce paragraphe, nous savons que ce rapport sera inférieur à l'unité et variable suivant les saisons.

Pour un gazon, PENMAN (8) propose :

| | | |
|---|---|---|
| — de novembre à février . . . . . | $\frac{E_T}{E_O}$ | = 0,6 |
| — mars-avril — septembre-octobre . . . . | » | = 0,7 |
| — mai-août . . . . . | » | = 0,8 |
| — pour l'année entière . . . . . | » | = 0,75 |

Ces valeurs sont également applicables à toutes végétations basses couvrant le sol et de même teinte que le gazon. Il n'y a, en effet, aucune raison de penser que les deux facteurs a) et b) précédemment énoncés puissent varier sérieusement d'une plante à l'autre.

Il existe actuellement toute une série de résultats expérimentaux effectués en différentes parties du monde, confirmant *ce fait très imper-*

*tant, à savoir que la « vitesse potentielle de transpiration » est la même pour toutes les couvertures végétales de faible hauteur, ayant sensiblement la même couleur et couvrant complètement le sol, cette vitesse étant presqu'exclusivement fonction des conditions météorologiques*, pour rappeler le deuxième principe de base.

Il semble, d'ailleurs, que ce principe s'applique également à des tapis végétaux d'allures différentes pour ne citer que les travaux expérimentaux de THORNTHWAITE, PENMAN (18), FOCAN et FRIPIAT (20).

Par exemple, les deux derniers auteurs ont montré qu'en conditions équatoriales les évapotranspirations journalières moyennes d'une pelouse à *Paspalum* et d'une forêt primitive sont pratiquement identiques et de l'ordre de 3 mm par jour.

Il est encore remarquable d'observer avec PENMAN que la vigueur d'une végétation déterminée est sans importance au point de vue transpiration, avec toujours la même restriction toutefois, que la plante puisse prélever de l'eau à volonté dans le sol. Des parcelles de gazon pourvues d'une abondante fumure minérale ont donné les mêmes chiffres d'évaporation que des parcelles non fumées à production herbacée beaucoup plus faible.

### RECHERCHES SUR LE FACTEUR f.

Tout en ayant reconnu une valeur pratique aux valeurs du facteur f déterminées d'une manière plus ou moins pratique, SCHOFIELD et PENMAN (15, 19) se sont appliqués à justifier plus scientifiquement les valeurs employées en procédant à une étude systématique de la physique de la transpiration au départ des feuilles des végétaux.

Les auteurs sont amenés, entr'autres, à utiliser une grandeur exprimée par la formule $S = \frac{L_a}{L_a + L_s}$ = *facteur stomate*, dans laquelle

$L_a$ = *longueur effective* représentant la longueur à partir de la surface évaporante, au sein de laquelle la diffusion de l'eau se fait par voie moléculaire avec une résistance constante et $L_s$ une *longueur hypothétique* qui tient compte de la résistance des stomates au flux de vapeur d'eau.

Pour plus de détail nous renvoyons aux travaux originaux des auteurs.

## IV. — CAS DES SURFACES NON SATUREES

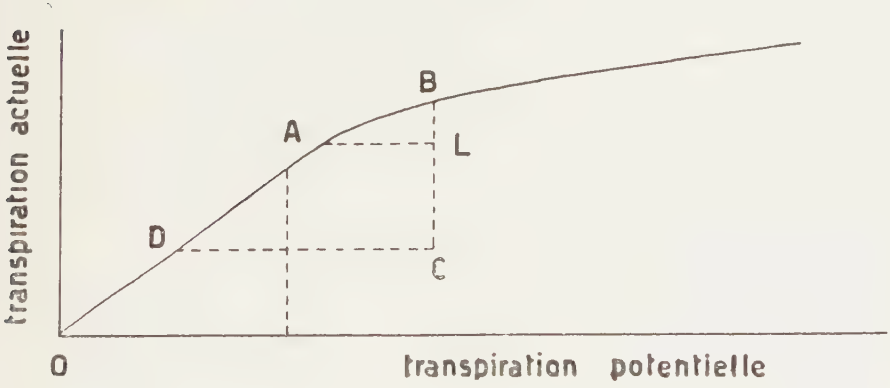
Jusqu'à présent, nous avons supposé que l'apport en eau pour le végétal était amplement suffisant pour maintenir l'évaporation du végétal au niveau de l'évaporation potentielle.

Examinons ce qui se passe quand le sol est soumis à une dessiccation progressive.

PENMAN (10) suppose que la dessiccation du sol par les racines s'effectue comme en sol nu, le système radiculaire exerçant un potentiel de dessiccation de même nature que celui déterminé en sol nu par les conditions météorologiques. L'auteur (1) a livré un certain nombre de résultats expérimentaux sur les variations de la teneur en eau par évaporation naturelle dans un sol à jachère nue. La courbe de dessiccation comporte deux parties distinctes : une première, rectiligne, de courte durée correspond à une première phase de dessiccation rapide; la seconde également rectiligne avec une pente beaucoup plus faible (de 1/12) correspond à une phase de dessiccation lente (ordonnées = temps; abscisses = teneur en eau du sol).

En conséquence, si nous dressons le diagramme suivant en portant *en abscisses la transpiration potentielle et en ordonnées, la transpiration actuelle,* nous pouvons obtenir la courbe de dessiccation du sol sous l'action évaporante de la végétation.

La courbe aura l'allure suivante :




Les coordonnées sont exprimées en hauteur d'eau. La *transpiration potentielle* est calculée à l'aide de données météorologiques.

Nous supposons O l'origine représentant à un état hydrique du sol correspondant à la *field capacity*. La première partie de la courbe OA suit sensiblement la bissectrice de l'angle des coordonnées. C'est-à-dire, que la transpiration actuelle reste égale à la *transpiration potentielle*. Nous rencontrons donc de nouveau le concept de « *constante radiculaire* » *(root constant* ou *root reserve)* défini précédemment et au sujet duquel nous reviendrons à la fin de cet exposé.

Après avoir dépassé quelque peu le point A, la courbe s'infléchit fortement sur l'axe des x.

L'effet optimum de la pluie ou le résultat escompté de l'irrigation est de ramener l'état hydrique du sol au point O, c'est-à-dire de combler le « *déficit en eau du sol* ».

Cette courbe peut être utilisée comme graphique pour prévoir ou reconstituer l'effet d'une précipitation d'une épaisseur donnée ou pour calculer la quantité d'eau requise par l'irrigation (PENMAN, 7, 10, 12).

Voici un exemple : soit, pour une période donnée, une évaporation potentielle de E calculée d'après les données météorologiques. De cette quantité, il faut déduire la somme des précipitations R.

(E' — R) représente donc la quantité d'eau maximum que le sol a pu perdre pendant la durée fixée, au début de laquelle nous avons supposé un état initial représenté, par exemple, par D.

A partir de D et parallèlement aux abscisses portons une longueur = E — R. Nous obtenons un point C. De ce point, nous élevons une droite parallèle aux ordonnées, qui nous donne le point B: BC mesure donc le nouveau déficit. Ce segment comprend deux parties: une première CL pour laquelle $x = y$, et une seconde BL pour laquelle $y < x$.

Rappelons que l'utilisation de ce graphique a permis à PENMAN de reconstituer correctement les dates de fonctionnement des drains dans les prairies expérimentales de la ferme de l'Université de Cambridge, montrant ainsi la valeur objective du concept « *constante radiculaire* ».

Pour obtenir le fonctionnement des drains, il suffit que la quantité de pluie soit suffisante pour rendre le déficit négatif, c'est-à-dire, pour amener une extrémité de l'ordonnée correspondante sous l'axe des x.

## INFLUENCE DE LA VEGETATION

Tant qu'il s'agit de surfaces saturées où l'apport en eau est toujours suffisant pour maintenir l'évaporation au niveau de l'évaporation potentielle nous avons déjà signalé avec PENMAN que la nature de la couverture végétale importait peu, l'évaporation étant essentiellement fonction de l'énergie solaire incidente.

Cependant, dès que nous supposons un « *déficit en eau du sol* », nous devons tenir compte de la nature de la végétation d'une part et d'autre part de la réaction d'une végétation donnée aux pratiques culturales; ces deux points de vue considérés ayant une influence sur les valeurs de C ou « *constante radiculaire* », c'est-à-dire sur la position du point A dans la courbe de dessiccation du sol.

Des végétaux à fort enracinement, comme des arbres, ont une valeur de C beaucoup plus grande qu'une végétation annuelle. Et encore, si nous comparons deux parcelles d'une même végétation, du gazon par exemple, dont une est abondamment fumée et l'autre ne reçoit aucune fumure, nous constaterons que le C de la première parcelle est plus important que celui de la seconde, par suite d'une différence dans l'épanouissement radiculaire.

Quant à l'influence spécifique des propriétés du sol, on peut admettre avec PENMAN que le substrat pédologique a relativement peu d'influence sur les valeurs de C.

En effet, on observe généralement, toutes autres conditions étant égales, que les propriétés physiques qui facilitent l'expansion des racines (texture sableuse), diminuent le pouvoir rétentif et vice-versa; en d'autres termes, la quantité d'eau prélevée par des végétaux de même nature et en mêmes conditions de croissance, reste sans doute sensiblement la même quand les propriétés physiques du sol varient, tout en demeurant normales bien entendu.

## C. — QUELQUES CONCLUSIONS, COMMENTAIRES, ET EXEMPLES D'APPLICATION

En les exprimant d'une manière quelque peu pédologique, nous pouvons résumer comme suit les conclusions des différents travaux de PENMAN.

### 1. — Conclusions

a) *En cas d'alimentation en eau pleinement assurée pour le végétal, les pertes en eau du sol suivent une loi imposée par les conditions météorologiques générales et indépendante de la nature des végétaux, si on considère toutefois des couvertures végétales couvrant bien le sol, de même teinte (pouvoir réflecteur) et de même structure (hauteur, uniformité de la surface, etc.).*

Si nous comparons des tapis vivants de teintes ou de structures différentes, des variations peuvent intervenir par suite de modification dans les contacts avec l'atmosphère. Ces variations ne paraissent pas devoir dépasser des valeurs de l'ordre de 10 % (*).

Connaissant à l'aide de données météorologiques la vitesse d'appauvrissement du sol en eau sous l'action évaporante de la végétation, il devient possible de calculer les apports d'eau éventuels à pourvoir par l'irrigation pour toute époque de l'année.

b) En cas de déficit en eau du sol, les données climatiques ne permettent plus de suivre aussi aisément la loi de dessiccation du sol, du moins dans l'état actuel des travaux de PENMAN.

Toutefois, en introduisant le concept de *root constant* et en appliquant au sol couvert de végétation la loi de dessiccation découverte expérimentalement pour les sols nus, on approche de la solution du problème.

(*) Communication verbale de MM. SCHOFIELD et PENMAN.

Dans ce second cas, la nature d'une couverture végétale déterminée (espèce botanique et mode de traitement) peut avoir une influence spécifique par l'intermédiaire de la valeur de C *(root constant)*.

c) Dans les deux cas, il ne semble pas, d'après PENMAN, que les propriétés originelles du sol aient à intervenir d'une manière essentielle vu les possibilités d'adaptation du système radiculaire. Il est clair cependant que toute modification physique (aération) ou chimique (alimentation minérale ou azotée) ou biologique survenant d'une manière naturelle ou artificielle exercera une influence pour autant qu'elle modifie la vigueur d'épanouissement radiculaire *(root constant)*.

## 2. — Commentaires

Comme nous l'avons défini au début de cette note, les idées de PENMAN expriment une *tendance synthétique* et correspondent d'ailleurs à un besoin pratique et nécessaire d'exprimer les résultantes de facteurs très complexes à l'aide de « single values » qui ont force de sommation algébrique ou mieux d'intégrale puisqu'il y a intervention du facteur temps.

Reprenons le cas, à titre d'exemple, de la notion de *root constant* qui est avant tout une caractéristique d'activité radiculaire. Rappelons qu'elle s'exprime par l'épaisseur d'une lame d'eau au même titre qu'une quantité de pluie pour une période donnée.

En présence de ce concept, le pédologue peut se poser certaines questions :

a) *Est-il possible d'exprimer cette grandeur par des valeurs pédologiques comme le pF ?* SCHOFIELD et PENMAN n'ont pas résolu le problème à ma connaissance.

Comme pour la notion de *field capacity* on peut imaginer qu'il y a deux cas à considérer :

— *premièrement*, celui d'une masse de terre homogène et très limitée, régulièrement fouillée par les racines (vase de végétation). Comme il semble s'agir d'une valeur à signification principalement physiologique, il paraît possible d'admettre à priori qu'une valeur de pF bien déterminée doive lui correspondre, en analogie avec *le point de fanaison permanente (permanent wilting point)*.

— *deuxièmement*, s'il s'agit de conditions naturelles, en plein champs, nous constatons comme pour la *field capacity* qu'il devient très difficile d'exprimer l'état hydrique du sol par des valeurs précises, puisque nous ne connaissons généralement pas le volume de terre exact fouillé effectivement par les racines.

Dans ce cas, seule une valeur *intégrale* comme celle fixée par PENMAN peut résoudre le problème.

— b) *Est-il possible de caractériser par cette valeur un état d'évolution pédologique ?*

Pour une couverture végétale donnée comme une forêt, par exemple, il semble logique d'admettre qu'une des manifestations d'un certain état de dégradation du sol amène une diminution de l'activité radiculaire se marquant par une diminution de l'épaisseur fouillée par les racines *(solum biodynamique remontant)*.

Il n'est donc pas illogique de penser que les modifications de valeur de la « *constante radiculaire* », en supposant qu'on puisse les déterminer, puissent servir à caractériser un état d'évolution régressive ou progressive de la productivité des sols.

Notons en passant que le concept de *root constant* exprime en fait une opinion qui est en contradiction avec celle de VEIHMEYER. Sur la base de ces expériences, cet auteur afirme que l'eau du sol comprise entre la *field capacity* et le *permanent wilting point* est également utilisable pour les végétaux.

## 3. — Cas possibles d'application à la Belgique des idées de Penman

a) La conservation des réserves hydriques de la Belgique préoccupe légitimement de nombreux chercheurs belges. Un problème qui reste encore posé à l'heure actuelle intéresse les réserves d'eau des hauts plateaux de la Belgique. Il apparaît très intéressant de savoir, par exemple, si l'enrésinement après drainage, des surfaces présentement occupées par des fanges ou tourbières, peut avoir une répercussion notable sur le volume de l'eau emmagasinée et disponible pour alimenter la nappe aquifère, si l'on fait abstraction, bien entendu, des quantités perdues lors du rabattement artificiel de la nappe dans les premières phases du drainage.

Nous avons posé la question à MM. SCHOFIELD et PENMAN. Nous croyons pouvoir résumer leur opinion comme suit : les pertes en eau du sol par évaporation ne peuvent qu'être sensiblement égales dans les deux cas. Tout au plus, pourrait-on prévoir des différences d'un ordre ne dépassant pas 10 % entre les deux. A priori, c'est la tourbière qui doit évaporer le plus, car elle offre des conditions qui tendent à se rapprocher le plus de celles d'une nappe d'eau libre.

Il est toutefois important de rappeler que le problème de la quantité d'eau perdue par évaporation ne doit pas être confondu avec celui du niveau d'équilibre de la nappe aquifère, chaque couverture végétale ayant tendance de régler à un niveau propre la profondeur de la nappe sous-jacente, indépendamment de la quantité d'eau prélevée à ce réservoir.

### b) DRAINAGE DES AIRES HUMIDES

En principe, une surface doit être drainée quand il n'est pas possible d'y maintenir ou d'y installer une couverture végétale économiquement intéressante. Pour le cas de la Belgique, il semble bien qu'on ne tienne pas toujours compte des considérations suivantes :

— 1°. L'évaluation d'un état hydrique défavorable par excès ne doit pas être exclusivement déterminé durant la période de repos de la végétation. Il faut considérer également la situation pendant la saison estivale. Il arrive, en effet, fréquemment que des sols humides en hiver sont écologiquement très secs en été.

— 2°. Toute pratique agricole qui augmentera la puissance d'activité radiculaire, comme une fumure adéquate, en faisant croître les valeurs de la *root constant* sera de nature à augmenter les prélèvements à la nappe.

Il pourra devenir inutile ou même nuisible de procéder au drainage.

Nous sommes très reconnaissants au Dr R. K. SCHOFIELD, Directeur au Département Physique à la Rothamsted Experimental Station et à son collaborateur le Dr H. L. PENMAN pour l'amabilité avec laquelle ils nous ont accueilli lors de notre voyage en Angleterre.

Au Dr H. L. PENMAN, nous adressons des remerciements tout spéciaux pour avoir bien voulu revoir notre manuscrit.

## BIBLIOGRAPHIE

1. PENMAN, H. L. (1941) — Laboratory experiments on evaporation from fallow soils. *Journ. of Agricultural Science*, vol. 42, n° 3, pp. 286 à 292.
2. PENMAN, H. L. (1946) — Work of the Physics Departement on natural evaporation. Introduction to the report of Physics Department in the annual report of the Rothamsted Experimental Station, Harpenden, 1946, pp. 3 à 7.
3. PENMAN, H. L. (1946) — Weather and Crops, *Weather*, 1946.
4. PENMAN, H. L. (1946) — Some aspects of evaporation in nature, *Royal College of Science Journal*, Vol. 16.
5. SCHOFIELD, R. K. (1947) — The measurement of evaporation, *Comptes rendus du Congrès de Pédologie Méditerranéenne*, Montpellier-Alger, 1947, pp. 85, 86.
6. PENMAN, H. L. (1947) — Future developments in Agricultural meteorology. *Weather*, mai 1947.
7. PENMAN, H. L. (1948) — Physics in Agriculture. *Journ. of the Scientif. Instruments and of Physics in Industry*. Vol. 25, n° 12, pp. 425 à 432.
8. PENMAN, H. L. (1948) — Natural evaporation from open water, bare soils and grass, *Proc. Roy. Society*, Sér. A, (193) pp. 120 à 145.
9. PENMAN, H. L. (1948) — Evaporation in nature, *The physical Society*, Vol. 11, pp. 366 à 388.
10. PENMAN, H. L. (1949) — The dependence of transpiration on weather and Soils conditions. *Journal of Soil Science*, 1, pp. 74 à 89.

11. SCHOFIELD, R. K. et PENMAN, H. L. (1949) — The concept of Soil moisture deficit. *Proc. 2nd Int. Conf. Soil. Mechan.* Rotterdam, 1949 (5 pages).

12. SCHOFIELD, R. K. (1950) — Soil moisture and evaporation. *Transact. of the Intern. Congress of Soil Science,* Amsterdam, 1950, Vol. 2, pp. 20 à 28.

13. PENMAN, H. L. (1950) — Recent Rothamsted Studies in natural evaporation. *Landbouwkundig Tijdschrift,* 62me année. N° 3, mars 1950, pp. 166 à 177.

14. PENMAN, H. L. (1950) — The water balance of the Stour Catchment area. *Journ. of the institutions of water engineer,* Vol. 4, n° 6, pp. 457 à 469.

15. PENMAN, H. L., et SCHOFIELD, R. K. (1951) — Some physical aspects of assimilation and transpiration. *Symposia of the Society for experimental biology,* n° V, pp. 115 à 129.

16. PENMAN, H. L. (1951) — The role of vegetation in meteorology, Soil mechanics and hydrology. *British Journal of applied physics,* Vol. 2, n° 6, pp. 145 à 151.

17. PENMAN, H. L. (1952) — Water and plant growth. *Agricultural Progress,* Vol. 27, part. 2, pp. 145 à 154.

18. PENMAN, H. L. (1952) — Experiments on irrigation of Sugar beet. *Journal of Agricultural Science,* Vol. 42, n° 3, pp. 286 à 292.

19. PENMAN, H. L. (1953) — The physical bases of irrigation control. *Report of the thirtheenth International Horticulture Congress,* (1952) 11 pages.

20. FOCAN, A. et FRIPIAT, J. J. (1953) — Une année d'observation de l'humidité du sol à Yangambi. Institut Royal Colonial Belge.

21. PENMAN, H. L. (1954) — The calculation of irrigation need. *Ministry of Agriculture and Fisheries, Technical Bulletin,* n° 1, London, Her Majesty's Stationery office, 37 pages.

# Analyse biométrique des courbes d'exportation d'éléments minéraux du sol par les végétaux (*)

par

Léopold MARTIN,
Chargé de Cours à l'Institut Agronomique de l'Etat à Gembloux,
Directeur du Bureau de Biométrie (**)

et

Anne LENGER,
Ingénieur des Eaux et Forêts A.I.Gx.,
Assistante au Bureau de Biométrie (**).

## Résumé

Le problème biologique soumis à l'analyse du biométricien est le suivant : 1) rechercher et formuler une loi simple qui traduise le phénomène d'exportation d'éléments minéraux du sol (traité par différentes fumures) par les plantes; 2) mesurer la confiance que l'on peut accorder à cette loi, sur la base des données expérimentales.

La loi proposée est une fonction exponentielle de la forme $y = A - B.e^{-\alpha t}$. L'ajustement de la courbe qui en résulte, l'estimation de ses paramètres et de leurs limites fiduciaires, ainsi que l'appréciation de la qualité de l'ajustement de cette courbe aux points expérimentaux d'*abcisses inéquidistantes* (cas le plus général) sont réalisés grâce à une méthode combinée de FINNEY-MARTIN et STEVENS. On ne peut malheureusement pas, dans le cas présent, comparer les différentes courbes d'exportation d'un même élément — pour une même fumure du sol — d'une plante à l'autre, ni celles de l'exportation d'un même élément — par une même

(*) Déposé à la rédaction le 27 octobre 1954.

(**) Subsidié par l'Institut pour l'encouragement à la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.).

plante — à partir de sols ayant reçu différentes fumures : pour ce faire, il eût fallu plusieurs points expérimentaux correspondant à chaque abcisse, et non leur moyenne comme c'est le cas ici.

## Introduction

Les expériences qui ont suscité cette recherche biométrique ont été réalisées au Centre de Chimie-Physique Agricole(*) par A. VAN DEN HENDE et A. COTTENIE. Les recherches consistent à suivre, au cours d'une saison, l'exportation de divers éléments (chlore, $P_2O_5$, CaO, ...) par différentes plantes (lolium perenne, festuca pratensis), soumises à des fumures variées (NPK, NPKCaMg, ...). Les prélèvements de plantes, aux fins d'analyses, se sont succédés à des intervalles de temps variables (29 avril, 30 mai, 3 juillet, 23 août, 6 octobre) : il est, en effet, souvent difficile, sinon impossible, d'agir à des intervalles de temps réguliers en expérimentation agronomique, car le chercheur est tributaire de contingences d'ordre technique ou matériel, indépendantes de sa volonté. Il n'empêche que les données recueillies dans ces conditions soulèvent un problème délicat, du point de vue biométrique, du fait qu'il échappe aux procédés classiques d'investigation.

En présence de telles données expérimentales, notre tâche est d'interpréter biométriquement un graphique à 5 points, ayant en abcisse le temps (t) et en ordonnée les quantités d'éléments exportés (y) ; il s'agit en d'autres termes, de traduire le phénomène biologique par une fonction mathématique simple et maniable.

## Choix d'une fonction mathématique

La méthode courante de réduction statistique des données (R. A. FISHER, 1947) ne peut être appliquée de façon fructueuse aux résultats obtenus expérimentalement. Par contre, une tendance générale d'évolution de l'exportation des éléments dans le temps se dégage de l'examen des graphiques. En outre, la physiologie végétale nous apprend qu'il existe une limite supérieure à l'exportation au cours d'une saison. Il est donc logique d'ajuster aux points observés un type de *courbe* impliquant une *asymptote* : les agronomes reconnaîtront en ceci une courbe analogue à celle de Mitscherlich-Baule (celle-ci concerne l'accroissement du rendement quand on augmente les doses d'une fumure donnée). Il nous a paru opportun d'adapter une loi du même genre à l'exportation d'éléments dans le temps. On l'obtient par un raisonnement simple qui conduira à une réduction biométrique des données (L. MARTIN, 1953).

Si nous désignons par A la quantité maximum exportée au temps $t = x = \infty$, et par y la quantité déjà exportée à un moment t quelconque, la valeur $(A - y)$ représente la quantité restant à exporter.

(*) Subsidié par l'Institut pour l'encouragement à la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.).

L'allure du phénomène biologique indique que cette variable (A — y) diminue au cours du temps, ce qui laisse à penser qu'elle tend vers zéro, lorsque t tend vers l'infini.

Nous écrivons que, dans le petit intervalle de temps (t, t + dt), la quantité qui reste à exporter diminue d'une valeur d(A — y).

La vitesse absolue d'évolution de (A — y) est négative; elle vaut :

$$v = \frac{d(A - y)}{dt}$$

Sa vitesse relative u, exprimée en % restants par unité de temps, vaut:

$$u = \frac{1}{A - y} \cdot \frac{d(A - y)}{dt}$$

Voici *la loi la plus simple* que nous exprimons à partir de u, et qui est d'application très générale :

Toutes conditions restant égales au cours de la saison, u est constant et égal à une valeur négative — $\alpha$ :

$$\frac{1}{A - y} \cdot \frac{d(A - y)}{dt} = - \alpha$$

En séparant les variables, il vient :

$$\frac{d(A - y)}{A - y} = - \alpha \, dt$$

Intégrons membre à membre entre zéro et t :

$$\ln \frac{A - y}{A - y_o} = - \alpha \, (t - 0)$$

$(A - y_o)$ est une constante d'intégration que nous pouvons représenter par B; $y_o$ est la quantité exportée au temps t = 0, c'est-à-dire au moment du premier prélèvement, et B représente la quantité maximum exportable dès ce moment.

$$\ln \frac{A - y}{B} = - \alpha \, t$$

D'où,

$$A - y = B \cdot e^{-\alpha t}$$

Enfin, $y = A - B \cdot e^{-\alpha t}$ représente l'équation générale des courbes d'exportation, caractérisées par les trois paramètres A, B, et $\alpha$.

Les courbes définies par une telle formule sont appelées *régressions asymptotiques*. Stevens (1951), moyennant la notation $r = e^{-\alpha}$, écrit :

$$y = A - B \, r^t$$

Nous obtenons ainsi une famille de courbes à trois paramètres A, B et r :

A : hauteur de l'asymptote nous donnant une valeur *estimée* de l'exportation maximum possible;

B : amplitude *estimée* de l'exportation depuis la valeur initiale jusqu'à la valeur estimée de l'asymptote; en d'autres termes, B représente le changement de valeur de y quand t va de 0 à l'infini; en termes biologiques, cet infini mathématique répond à la levée d'une saison au cours de laquelle toutes les conditions resteraient égales.

$r = e^{-\alpha}$ : où $-\alpha$ est la vitesse relative d'exportation.

A présent, la fonction mathématique étant rationnellement choisie, le problème consiste à ramener les graphiques précédemment décrits à un ensemble de trois nombres A, B et $\alpha$.

Ces trois quantités sont estimées à partir des données observées $y_{(t)}$. Nous effectuons ainsi une *réduction biométrique des données, pour chaque fumure, en calculant les trois paramètres de la courbe d'exportation d'un élément donné* (L. MARTIN, 1953).

Ensuite, la méthode de STEVENS (1951) basée sur la théorie de l'information de R. A. FISHER sera utilisée pour calculer la précision des estimations obtenues. Ce faisant, nous agissons d'une manière très analogue à la réduction statistique en cherchant : 1) des paramètres de localisation d'une courbe dont le type est fourni par l'analyse biométrique, et 2) des indices fixant la précision de ces paramètres de localisation.

## Technique d'ajustement

La méthode d'analyse des résultats consiste donc en l'ajustement de 5 points expérimentaux par une courbe exponentielle d'équation

$$y = A - B\ r^t.$$

La méthode de STEVENS (1951) nous est apparue comme étant la meilleure, sinon la seule capable d'analyser les données en cause. Mais une difficulté essentielle d'application surgit : les tables publiées par STEVENS (1951) sont élaborées pour des points expérimentaux d'abcisses équidistantes. Or, nos points ne le sont pas. La méthode de STEVENS est donc un cas particulier qu'il est intéressant, voire même nécessaire, de généraliser.

Notons que, dans un article récent, PIMENTEL GOMEZ (1953) reprend la question dans son ensemble, mais toujours dans le cas particulier des abcisses équidistantes.

Nous avons tenté, à trois reprises, de résoudre le problème plus général. Nous l'avons abordé de biais, en imaginant un subterfuge qui nous eût permis d'utiliser les tables déjà existantes; ces essais sont restés

infructueux. C'est pourquoi, nous avons ensuite entamé le problème de front en calculant de nouvelles matrices d'information, ce qui revient à construire de nouvelles tables pour des points d'abcisses inéquidistantes. Ceci est le procédé le plus long et le moins original, mais il est le seul à donner des résultats valables.

Voici le détail de nos trois tentatives :

I. — PREMIERE TENTATIVE.

Le subterfuge consiste à ajuster une courbe, à main levée, aux points expérimentaux; à relever sur cette courbe des points d'abcisses équidistantes; à déterminer, à partir de ces points, les trois paramètres d'une courbe estimée par approximations successives selon la méthode de STEVENS et à l'aide de ses tables; à calculer la précision de ces paramètres.

Les différentes étapes du calcul numérique sont les suivantes :

a) *A partir des points d'abcisses équidistantes obtenus graphiquement* (1).

1) Estimation préliminaire de A, B et $\alpha$ au moyen d'une technique mise au point par D. J. FINNEY et L. MARTIN (cfr. annexe).

2) L'estimation de $\alpha$ nous permet d'entrer dans la table de STEVENS pour la valeur $r = e^{-\alpha}$ et $n = 5$. Par souci de précision, on peut interpoler linéairement la matrice d'information dans la table (celle-ci, pour $n = 5$, est comprise entre $r = 0{,}25$ et $r = 0{,}70$; elle donne les matrices pour les valeurs de r comprises entre 0,25 et 0,65 à intervalles de 0,10 unité, et entre 0,65 et 0,70 à intervalles de 0,05).

3) Nouvelle approximation des trois paramètres à partir des matrices d'information, par la méthode de STEVENS.

4) Le cycle décrit en 2) et 3) est répété jusqu'au moment où les valeurs des paramètres semblent se stabiliser : le choix de ce moment est laissé à l'appréciation du chercheur.

b) *Revenons aux points expérimentaux originaux inéquidistants.*

1) Calcul des valeurs estimées de y d'abcisses inéquidistantes; tracé de la courbe estimée passant par ces points.

2) Estimation de la précision des paramètres calculés.

3) Test de signification destiné à déceler les traitements dont l'action diffère significativement de celle du témoin à un seuil de signification donné.

4) Analyse de la variance.

Nous avons appliqué ce procédé à de très nombreuses courbes; les résultats de deux d'entre elles sont donnés dans les tableaux Ia et Ib.

(1) Il convient de diminuer les valeurs correspondant à ces points d'une constante telle que leur moyenne arithmétique soit proche de, ou égale à zéro (cfr. STEVENS, 1951, p. 252).

1re TENTATIVE.

TABLEAU Ia.

*Résultats obtenus après ajustement des points expérimentaux par une courbe à main levée et itération partielle (itération des paramètres).*

*Témoin 16/VI.*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha$ | r | dr | a | b | a — b |
| $\alpha = 0{,}6227$ | $r = 0{,}53649$ | $dr' = +0{,}01941$ | $A = 1936{,}4$ | $B = 1662{,}3$ | 274,1 |
| $\alpha' = 0{,}5871$ | $r' = 0{,}55590$ | $dr'' = +0{,}00035$ | $a' = 1971{,}8$ | $b' = 1689{,}7$ | 282,1 |
| $\alpha'' = 0{,}5865$ | $r'' = 0{,}55625$ | $dr''' = -0{,}00007$ | $a'' = 1974{,}1$ | $b'' = 1692{,}0$ | 282,1 |
| $\alpha''' = 0{,}5867$ | $r''' = 0{,}55618$ | | $a''' = 1973{,}9$ | $b''' = 1691{,}8$ | 282,1 |

| | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| | $S(y - y_e)$ | $S(y - y_e)^2$ | $S(y)^2 - [aY + bY_1 + (bdr)\ Y_2]$ | $S(y^2) - S(y_e^2)$ |
| $(\alpha'')$ | — 21,1232 | 8246,38 | + 13.107,29 | + 16.491,29 |
| $(\alpha''')$ | + 20,8570 | 8244,88 | + 12.223,61 | + 16.526,44 |

*NPKCaMg 16/VI*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha$ | r | dr | a | b | a — b |
| $\alpha = 0{,}4348$ | $r = 0{,}64739$ | $dr' = -0{,}00143$ | $A = 5.663{,}6$ | $B = 4.148{,}8$ | 1514,8 |
| $\alpha' = 0{,}4369$ | $r' = 0{,}64596$ | $dr'' = +0{,}00065$ | $a' = 5.663{,}5$ | $b' = 4.150{,}6$ | 1512,9 |
| $\alpha'' = 0{,}4360$ | $r'' = 0{,}64661$ | $dr''' = -0{,}00014$ | $a'' = 5.670{,}7$ | $b'' = 4.157{,}3$ | 1513,4 |
| $\alpha''' = 0{,}4362$ | $r''' = 0{,}64647$ | $dr'''' = +0{,}00007$ | $a''' = 5.666{,}8$ | $b''' = 4.155{,}5$ | 1511,3 |
| $\alpha'''' = 0{,}4361$ | $r'''' = 0{,}64654$ | | $a'''' = 5.669{,}5$ | $b'''' = 4.156{,}2$ | 1513,3 |

| | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| | $S(y - y_e)$ | $S(y - y_e)^2$ | $S(y)^2 - [aY + bY_1 + (bdr)\ Y_2]$ | $S(y^2) - S(y_e^2)$ |
| $\alpha''''$ | + 93,4842 | 57.534,66 | + 295.696,82 | + 522.787,19 |

(9) $aY + bY_1 + (bdr)\ Y_2 = S(y_c^2)$

où $Y_1 = S(r^x \cdot y)$

$Y_2 = S(xr^{x-1} \cdot y)$

$Y_1$ et $Y_2$ sont calculés pour des valeurs de $x$ d'abscisses inéquidistantes.

TABLEAU Ib.

*Analyse de la variance.*

*Témoin.*

| Source de variation | d.l. | S. S. | M. S. | F | $F_{0.05}$ | $F_{0.01}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Temps : Régression . | 2 | 1.044.818,3868 | 522.409,1934 | 85,48* | 19,00 | 99,01 |
| Déviation à partir de la Régression . . . . | 2 | 12.223,6132 | 6.111,8066 | | | |
| Total . . . . . | 4 | 1.057.042,0000 | | | | |

*NPKCaMg*

L'analyse de la variance est impossible car on a obtenu des résultats aberrants, notamment la S. S. de la déviation négative.

Nous sommes arrivés à la conclusion que :

1) si l'on peut à la rigueur se contenter, pour des besoins de représentation graphique, des paramètres calculés,

2) il est, par contre, impossible de se fier à l'estimation de leur précision. En effet, nous obtenons des valeurs de $S(y - y_e)^2$ et $S(y^2) - S(y^2_e)$ très différentes l'une de l'autre, et $S(y - y_e)$ est très éloignée de zéro;

3) ceci explique, par ailleurs, le fait que nous obtenions parfois des sommes de carrés (S.S. ou Sums of Squares) de valeur négative qui rendent impossible l'analyse de la variance.

## II. — DEUXIEME TENTATIVE.

Nous avons non seulement recherché les valeurs des trois paramètres par approximations successives, mais nous avons également itéré les valeurs de y. C'est-à-dire qu'après chaque calcul de paramètres selon le schéma décrit au cours de la première tentative (a, 2 et 3), nous avons estimé de nouvelles valeurs des y d'abcisses inéquidistantes. Le graphique I montre que l'amplitude des variations de r et de ses corrections successives (dr) ne diminue pas. En outre, les valeurs des paramètres a et b ne cessent d'augmenter. Enfin, $S(y - y_e)$ est très différente de zéro (cfr. tableau II) et oscille par larges amplitudes qui, après la troisième itération, couvrent le zéro de façon asymétrique, sans tendance manifeste à la convergence (cfr. graphique II).

## III. — TROISIEME TENTATIVE.

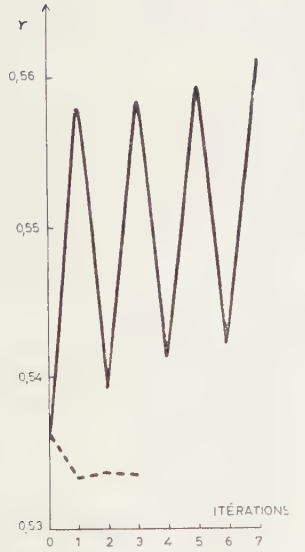
Devant ces échecs, nous avons appliqué intégralement les méthodes combinées de FINNEY-MARTIN et STEVENS, *en calculant les matrices d'information correspondant à nos points expérimentaux d'abcisses inéquidistantes.* Ces calculs, qui sont très longs et fastidieux, pourraient être effectués en très peu de temps par les machines à cartes perforées.

Nous avons consigné, dans le tableau IIIa, les résultats obtenus pour deux courbes. On peut aisément voir à quel point ils donnent entière satisfaction : 1) les valeurs des paramètres ont des oscillations de faible amplitude au cours des approximations successives et se stabilisent rapidement; 2) $S(y - y_e)$ se rapproche de zéro et les valeurs consignées dans les colonnes 8, 9 et 10 sont très semblables.

Le tableau IIIb compare les résultats obtenus par la première et la troisième tentative : on peut constater notamment que les limites fiduciaires des paramètres au seuil de probabilité 0,05, calculées selon les deux procédés, se recouvrent assez largement.

Les analyses de la variance (cfr. tableau IIIc) nous autorisent à rejeter l'hypothèse nulle ($H_0$) avec un risque maximum de 1 % de chance de nous tromper en rejetant à tort cette hypothèse quand elle est vraie. En d'autres termes, nous courons un risque d'une chance sur 100 de nous tromper en affirmant que la régression est significativement différente de zéro.

Jusqu'ici, nous n'avons testé que le fait de savoir si la courbe observée répond à la loi exponentielle. Malheureusement, pour différents traitements (ou fumures), il est impossible de comparer validement les

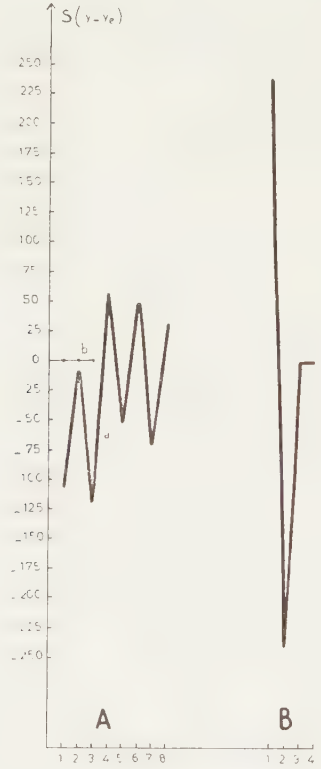



GRAPHIQUE I.

(Témoin.)

Trait plein : Valeurs successives du paramètre r (deuxième tentative).

Trait pointillé : Evolution de ce paramètre r (troisième tentative).




GRAPHIQUE II.

(Evolution de S ($y - y_e$) au cours des approximations successives).

A. témoin 16/VI :
  a. deuxième tentative,
  b. troisième tentative.

B. NPKCaMg 16/VI : troisième tentative.

2° TENTATIVE.

TABLEAU II.

*Résultats obtenus après ajustement de points expérimentaux à main levée et itération complète (itération des paramètres et des y).*

*Témoin 16/VI*

| r | dr | a | b | a — b | S(y - $y_e$) | $S(y - y_e)^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $r_0$ = 0,53649 | $dr_0$ = +0,02116 | $a_0$ 1977,7 | $b_0$ = 1694,9 | 282,8 | $S(y - y_{e_0})$ | —110,5984 | 10.420,2106 |
| $r_1$ = 0,55765 | $dr_1$ = —0,01849 | $a_1$ 1985,5 | $b_1$ 1701,8 | 283,7 | $S(y - y_{e_1})$ = | — 5,4287 | 8.271,7703 |
| $r_2$ = 0,53916 | $dr_2$ = +0,01923 | $a_2$ 1987,1 | $b_2$ = 1703,0 | 284,1 | $S(y - y_{e_2})$ | 123,7773 | 11.216,1589 |
| $r_3$ = 0,55839 | $dr_3$ = —0,01739 | $a_3$ 1992,4 | $b_3$ 1707,8 | 284,6 | $S(y - y_{e_3})$ | + 59,1224 | 26.266,4738 |
| $r_4$ = 0,54100 | $dr_4$ = +0,01836 | $a_4$ 1995,2 | $b_4$ = 1709,9 | 285,3 | $S(y - y_{e_4})$ | — 56,5778 | 24.251,5438 |
| $r_5$ = 0,55936 | $dr_5$ = —0,01741 | $a_5$ 1997,3 | $b_5$ = 1711,7 | 285,6 | $S(y - y_{e_5})$ | + 50,0269 | 26.230,4707 |
| $r_6$ = 0,54195 | $dr_6$ = +0,01914 | $a_6$ 2003,0 | $b_6$ = 1716,5 | 286,5 | $S(y - y_{e_6})$ | — 75,2722 | 25.030,7832 |
| $r_7$ = 0,56109 | $dr_7$ = —0,01770 | $a_7$ 2007,1 | $b_7$ = 1720,2 | 286,9 | $S(y - y_{e_7})$ | + 31,6212 | 26.237,8120 |

3e TENTATIVE.

TABLEAU IIIa.

*Résultats obtenus par approximations successives (calcul des matrices d'information correspondant aux points expérimentaux inéquidistants).*

*Témoin 16/VI*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha$ | r | dr | a | b | a — b |
| $\alpha = 0{,}6227$ | $r = 0{,}53649$ | $dr' = -0{,}00308$ | $A = 1936{,}4$ | $B = 1662{,}3$ | 274,1 |
| $\alpha' = 0{,}6285$ | $r' = 0{,}53341$ | $dr'' = +0{,}00021$ | $a' = 1938{,}2$ | $b' = 1663{,}7$ | 274,5 |
| $\alpha'' = 0{,}6281$ | $r'' = 0{,}53362$ | $dr''' = -0{,}00007$ | $a'' = 1938{,}5$ | $b'' = 1664{,}0$ | 274,6 |
| $\alpha''' = 0{,}6282$ | $r''' = 0{,}53355$ | [illegible] | $a''' = 1938{,}5$ | $b''' = 1663{,}9$ | 274,6 |

| | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| | $S(y - y_e)$ | $S(y - y_e)^2$ | $S(y)^2 - [aY + bY_1 + (bdr)\ Y_2]$ | $S(y^2) - S(y_e^2)$ |
| $(\alpha')$ | + 0,0259 | | | |
| $(\alpha'')$ | — 0,0380 | | | |
| $(\alpha''')$ | — 0,0351 | 7.542,14 | 7.494,21 | 7.458,48 |

*NPKCaMg 16/VI*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha$ | r | dr | a | b | a — b |
| $\alpha = 0{,}4348$ | $r = 0{,}64739$ | $dr' = -0{,}00415$ | $A = 5.663{,}6$ | $B = 4.148{,}8$ | 1514,8 |
| $\alpha' = 0{,}4412$ | $r' = 0{,}64324$ | $dr'' = -0{,}00338$ | $a' = 5.640{,}2$ | $b' = 4.088{,}2$ | 1552,0 |
| $\alpha'' = 0{,}4465$ | $r'' = 0{,}63986$ | $dr''' = +0{,}00254$ | $a'' = 5.703{,}6$ | $b'' = 4.141{,}5$ | 1562,1 |
| $\alpha''' = 0{,}4425$ | $r''' = 0{,}64240$ | $dr'''' = +0{,}00028$ | $a''' = 5.634{,}9$ | $b''' = 4.083{,}9$ | 1551,0 |
| $\alpha'''' = 0.4421$ | $r'''' = 0{,}64268$ | | $a'''' = 5.636{,}8$ | $b'''' = 4.085{,}3$ | 1551,5 |

| | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| | $S(y - y_e)$ | $S(y - y_e)^2$ | $S(y)^2 - [aY + bY_1 + (bdr)\ Y_2]$ | $S(y^2)$ $S(y_e^2)$ |
| $(\alpha')$ | + 238,7176 | | | |
| $(\alpha'')$ | — 238,2915 | | | |
| $(\alpha''')$ | + 0,6659 | | | |
| $(\alpha'''')$ | — 0,5198 | 54.614,40 | 54.843,68 | 55.550,11 |

*En interpolant $\alpha'''$ et $\alpha''''$, on obtient :*

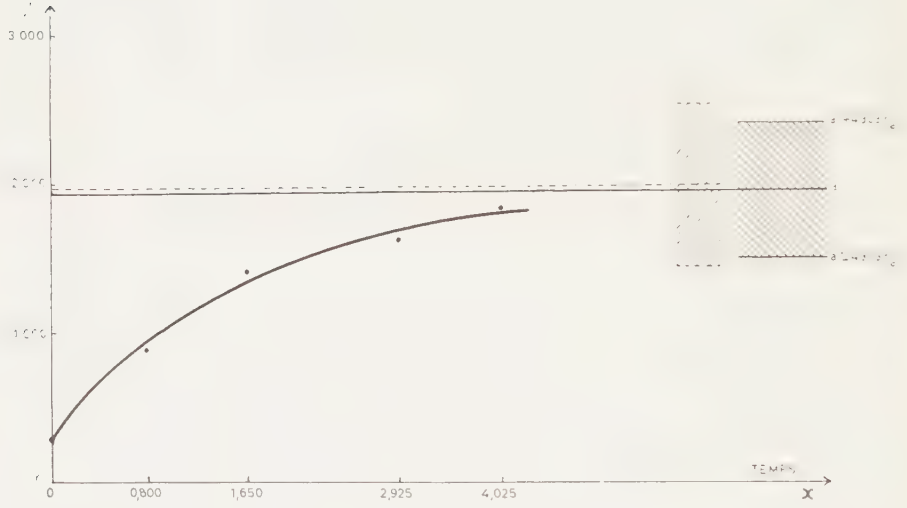
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha_1 = 0{,}4423$ | $r_1 = 0{,}64256$ | $dr_2 = +0{,}00041$ | | | |
| $\alpha_2 = 0{,}4416$ | $r_2 = 0{,}64297$ | | $\alpha_2 = 5638{,}6$ | $b_2 = 4086{,}8$ | 1551,8 |

| | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| $(\alpha_2)$ | + 0,0846 | 54.641,18 | 54.648,13 | 55.063,85 |

courbes (ou leurs paramètres descriptifs), car nous ne connaissons pas l'erreur résiduelle due à la variabilité entre parcelles sur champ. Pour ce faire, il nous eût fallu plusieurs points expérimentaux correspondant à chaque abcisse, et non leur seule moyenne comme dans le cas présent.

Enfin, l'allure de l'ajustement est donné dans les graphiques III et IV. Notons bien que les limites fiduciaires des paramètres ne sont valables que pour le test de validité de l'ajustement proposé et non pour des expériences réelles sur champ qui seraient répétées dans la suite (in the long run).

Ces limites fiduciaires sont très larges parce qu'elles ne sont calculées que pour 2 degrés de liberté, à partir des 5 points expérimentaux.



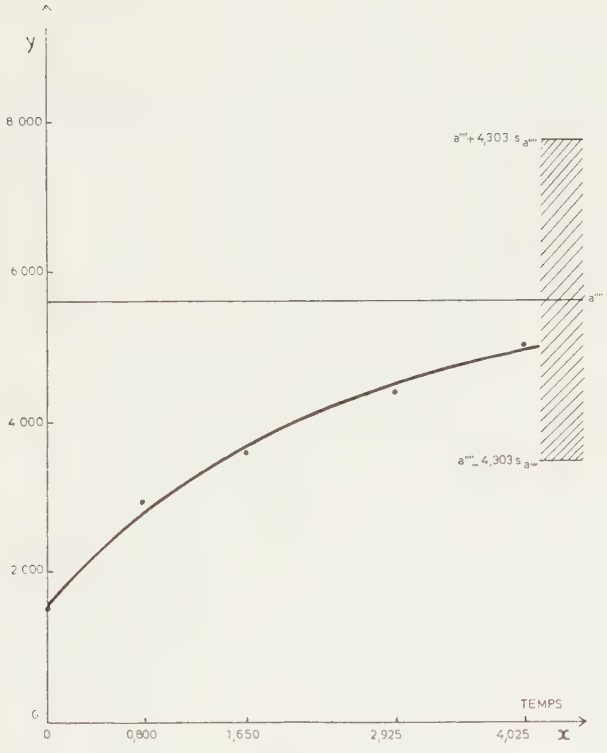

GRAPHIQUE III.

(Témoin 16/VI — Lolium perenne — Exportation acq. $K_2O$/Ha.)

Trait plein : Courbe calculée, ajustée aux points expérimentaux; asymptote ($a'''$) et ses limites fiduciaires au seuil de probabilité 0,05 (troisième tentative.)

Trait pointillé : Asymptote et ses limites fiduciaires obtenues lors de la première tentative (la courbe ajustée au cours de la première tentative se confond graphiquement avec celle dessinée ci-dessus).

Unité de temps : 1 = 40 jours.
x = t : 40.




GRAPHIQUE IV.

(NPKCaMg — 16/VI.)

Courbe calculée, ajustée aux points expérimentaux ; asymptote $a''''$ et ses limites fiduciaires au seuil de probabilité 0,05 (troisième tentative).

Unité de temps : 1 = 40 jours.

$x = t : 40$.

TABLEAU IIIb.

| | Témoin | | NPKCaMg | |
|---|---|---|---|---|
| | 1^e Tentative | 3^e Tentative | 1^e Tentative | 3^e Tentative |
| $\alpha$ | 0,5867 | 0,6282 | 0,4361 | 0,4421 |
| r | 0,55618 | 0,53355 | 0,64654 | 0,64268 |
| dr | —0,00007 | —0,00007 | +0,00007 | +0,00028 |
| a | 1973,9 | 1938,5 | 5.669,5 | 5.636,8 |
| b | 1691,8 | 1663,9 | 4.156,2 | 4.085,3 |
| a — b | 282,1 | 274,6 | 1.513,3 | 1.551,5 |
| $S(y - y_c)$ | +20,8570 | —0,0351 | +93,4842 | —0,5198 |
| $S(y - y_c)^2$ | 8244,88 | 7542,14 | +57.534,66 | 54.604,40 |
| $S(y^2) - (aY+bY_1 +(bdr)Y_2)$ | +12.223,61 | 7494,21 | +295.696,82 | 54.843,68 |
| $S(y^2) - S(y_c^2)$ | +16.526,44 | 7458,48 | +522.787,19 | 55.550,11 |
| $s^2_a$ | 15.581,63 | 11.008,06 | 291.092,01 | 251.216,12 |
| $s^2_b$ | 15.850,66 | 11.363,67 | 263.349,95 | 240.427,80 |
| $s^2_r$ | $3.727,76.10^{-6}$ | $3.130,44.10^{-6}$ | $5.888,67.10^{-6}$ | $5.546,91.10^{-6}$ |
| $s_a$ | 124,8 | 104,9 | 539,53 | 501,2 |
| $s_b$ | 125,9 | 106,6 | 513,17 | 469,5 |
| $s_r$ | 0,06106 | 0,05595 | 0,07674 | 0,07448 |

TABLEAU IIIc.

*Analyses de la variance.*

| *Témoin 16/VI.* | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | F observé | $F_{0,05}$ | $F_{0,01}$ | $F_{0,001}$ |
| 1^e approximation | 139,28** | 19,00 | 99,01 | 999,00 |
| 2^e approximation | 138,64** | | | |
| 3^e approximation | 140,05** | | | |
| *NPKCaMg 16/VI.* | | | | |
| 1^e approximation | 115,85** | 19,00 | 99,01 | 999,00 |
| 2^e approximation | 114,90** | | | |
| 3^e approximation | 116,28** | | | |
| 4^e approximation | 115,49** | | | |

## ANNEXE

Pour l'estimation préliminaire de r, STEVENS propose la formule suivante :

$$r = \frac{y_{(2)} - y_{(5)}}{y_{(1)} - y_{(4)}}$$

dont voici la justification algébrique :

$$y = A - B\,r^t \quad \ldots\ldots \quad \begin{aligned} y_{(1)} &= A - Br \\ y_{(2)} &= A - Br^2 \\ y_{(4)} &= A - Br^4 \\ y_{(5)} &= A - Br^5 \end{aligned}$$

$$r = \frac{A - Br^2 - A + Br^5}{A - Br - A + Br^4} = \frac{Br^2\,(r^3 - 1)}{Br\,(r^3 - 1)} = r.$$

Nous avons préféré adopter une méthode mise au point par D. J. FINNEY (1952) et L. MARTIN; elle nous donne, en plus d'une excellente estimation de r, une estimation des paramètres A et B :

a) *Recherche de* $\alpha$ *et de* r.

Nous avons en abcisse 5 points équidistants : $t_1$, $t_2$, $t_3$, $t_4$, $t_5$ qui représentent les temps, et en ordonnée $y_1$, $y_2$, $y_3$, $y_4$, $y_5$ qui représentent les quantités d'éléments exportés.

Posons $t_3 - t_1 = t_5 - t_3 = h$.

L'équation de notre courbe étant $y = A\left(1 - \frac{B}{A}\,e^{-\alpha t}\right)$,

il s'ensuit que

$$y_5 - y_3 = B(e^{-\alpha t_3} - e^{-\alpha t_5})$$

et

$$y_3 - y_1 = B(e^{-\alpha t_1} - e^{-\alpha t_3}).$$

D'où,

$$\frac{y_5 - y_3}{y_3 - y_1} = \frac{e^{-\alpha t_3} - e^{-\alpha t_5}}{e^{-\alpha t_1} - e^{-\alpha t_3}}$$

Rappelons que $t_3 + h = t_5$ et $t_3 - h = t_1$.

Il s'ensuit, après quelques réductions numériques, que

$$\frac{y_5 - y_3}{y_3 - y_1} = e^{-\alpha h}$$

D'où,

$$\alpha = \frac{1}{h}\,\ln\frac{y_3 - y_1}{y_5 - y_3}$$

Un développement similaire nous conduit aux formules suivantes :

$$\alpha_1 = \frac{1}{h} \ln \frac{y_3 - y_1}{y_5 - y_3}$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{h/2} \ln \frac{y_2 - y_1}{y_3 - y_2}$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{h/2} \ln \frac{y_4 - y_3}{y_5 - y_4}$$

$$\alpha = \frac{\frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2} + \alpha_1}{2} \qquad \text{et} \qquad r = e^{-\alpha}$$

On a groupé $\alpha_2$ et $\alpha_3$ qui jouent un rôle homologue, vu la répartition des points.

b) *Recherche de A et B.*

$$y_i = A\left(1 - \frac{A}{B} e^{-\alpha t_i}\right) = A - Be^{-\alpha t_i}$$

Appliquons la méthode des moindres carrés, en minimisant la somme des carrés des résidus,

$$S\ (y_i - A + B\ .\ e^{\alpha t_i})^2 = \text{minimum.}$$

On obtient aisément,

$$A = \frac{-(Sy_i \times Sc_i^2) + (Sc_i \times Sc_i y_i)}{(n \times Sc_i^2) + (Sc_i \times Sc_i)}$$

$$B = \frac{+(n \times Sc_i y_i) - (Sy_i \times Sc_i)}{-(n \times Sc_i^2) + (Sc_i \times Sc_i)}$$

où $\qquad c_i = e^{-\alpha t_i}$

## BIBLIOGRAPHIE

FINNEY, D. J. — Communication personnelle, 1952.

FISHER, R.A. — Les Méthodes Statistiques adaptées à la Recherche Scientifique. Traduit par I. Bertrand. Presses Univ. France, 1947.

FISHER, R.A., YATES, F. — Statistical Tables. London, Oliver and Boyd, 1953.

PIMENTEL GOMEZ, F. — Biometrics, 9, 498-516, 1953.

MARTIN, L. — Ann. Soc. Roy. Sc. Méd. Nat. Bx., 3 et 4, 133-149, 1953.

STEVENS, W. L. — Biometrics, 7, 247-267, 1951.

NOTE

# Quelques résultats au sujet du pH et du pouvoir tampon de la fane de différentes essences forestières (*)

par

D. FROMENT

Parmi les 46 essences forestières passées en revue, il est fait le classement suivant d'après le pH ($H_2O$), les fanes les moins acides en tête dans chaque subdivision :

a) Ont une fane peu acide ($pH > 5,5$) :
l'orme de montagne, l'orme champêtre, le frêne, le sureau noir, le cornouiller mâle, le peuplier noir, l'alisier blanc, le tilleul à grandes feuilles, le saule blanc, l'alisier torminal, le fusain d'Europe, l'aune blanc, le robinier faux-acacia, le troëne commun, le cornouiller sanguin, le tulipier de Virginie, le tilleul à petites feuilles, le saule marceau, le framboisier, le cerisier des bois, le sorbier;

b) Ont une fane moyennement acide ($5 < pH < 5,5$) :
le hêtre, le noisetier, l'érable champêtre, la viorne flexible, la viorne obier, le mélèze d'Europe, la bourdaine, le néflier, l'érable sycomore, le bouleau pubescent, le mélèze du Japon, le bouleau verruqueux, le chêne pédonculé, le chêne sessile, le marronnier d'Inde, l'érable plane, l'aune glutineux;

a) Ont une fane acide ($pH < 5$) :
le chêne rouge d'Amérique, le douglas, le pin sylvestre, le châtaigner, le pin laricio de Corse, le charme, le cerisier tardif, l'épicéa.

L'influence du sol et les variations possibles d'une année à l'autre ont été recherchées.

En résumé, il ressort de l'étude sur la réaction des fanes :

1) que le pH des feuilles mortes est spécifique à une essence déterminée:

(*) Résumé d'une question spéciale traitée sous le même titre (Manuscrit de 28 pages dactylographiées, 6 tableaux et 47 graphiques) en annexe du travail de fin d'études.

2) que, pour une même espèce, les variations de pH d'une année à l'autre sont minimes, sans toutefois être absentes;

3) que le pH est influencé par la nature du sol, plus ou moins selon les plantes, certaines (charme, cerisier tardif,...) ayant une fane à pH très stable, d'autres (orme, frêne,...) à pH assez variable;

4) que, dans l'ensemble, plus le pH est élevé, meilleur semble la décomposition de la fane. Mais des sérieuses réserves doivent être faites pour certaines essences, les unes (charme, cerisier tardif, aune glutineux, noisetier,...) sont manifestement déclassées, d'autres (hêtre,...) sont trop favorablement classées.

*
**

En ce qui concerne le pouvoir tampon des feuilles et aiguilles mortes, la méthode de HESSELMAN (1) a été suivie et a donné, parmi les espèces envisagées, le classement suivant :

a) essences ayant un bon pouvoir tampon pour les acides et pour les bases :

le charme, le cornouiller mâle, le cornouiller sanguin, l'orme de montagne, le cerisier tardif;

b) essences ayant un bon pouvoir tampon pour les acides et moyen pour les bases :

l'aune glutineux, le fusain, la viorne obier, la viorne flexible, le troëne, l'aubépine;

c) essences à pouvoir tampon moyen pour les acides et pour les bases :

le frêne, l'érable champêtre, l'érable sycomore, le peuplier noir, le saule blanc, le groseillier, le châtaignier, les résineux;

d) essences à pouvoir tampon faible pour les acides et moyen pour les bases :

le noisetier, le chêne pédonculé, le chêne sessile, le chêne rouge d'Amérique, le tulipier de Virginie, le robinier faux-acacia, la bourdaine, le tilleul à grandes feuilles, l'alisier blanc, l'alisier torminal;

e) essences à faible pouvoir tampon pour les acides et pour les bases :

le sorbier, l'érable plane, le tilleul à petites feuilles, l'aune blanc, le hêtre, le bouleau verruqueux, le bouleau pubescent, le marronnier d'Inde.

Comme il a déjà été rappelé précédemment (2), le classement par le pouvoir tampon rectifie certaines anomalies de position dans la classification par le pH mais ne paraît pas encore concorder exactement avec ce que nous observons quant à la rapidité de la décomposition de la fane dans la nature.

Une modification de la méthode classique de HESSELMAN est proposée. Elle consiste, au lieu d'ajouter l'acide ou la base quelques instants avant la détermination du pH, à laisser macérer les feuilles et aiguilles dans la solution de KCl 0,1 n au contact de l'acide ou de la base pendant 24 heures avant la mesure. La confrontation des résultats permet d'affirmer que les pouvoirs tampon déduits par la seconde méthode sont plus élevés, surtout en ce qui concerne les matières acides tampon, et en fait certainement plus proches des véritables pouvoirs tampon qui s'exercent dans le sol.

Ont été recherchées également les variations éventuelles dues à l'influence du sol et de l'année.

De cette étude sur le pouvoir tampon, il est conclu :

1) que le pouvoir tampon d'une fane est spécifique à une essence déterminée;

2) qu'il ne semble pas exister de différence dans le pouvoir tampon, d'une année à l'autre;

3) que l'allure des courbes du pouvoir tampon demeure sensiblement la même quel que soit le sol. Il faut noter toutefois que le type pédologique peut exercer une influence sur la position de la courbe par rapport aux axes de coordonnées;

4) qu'il paraît préférable et plus logique de déterminer les pH après contact pendant 24 heures de l'acide ou de la base avec les feuilles macérant dans la solution de KCl 0,1 n.

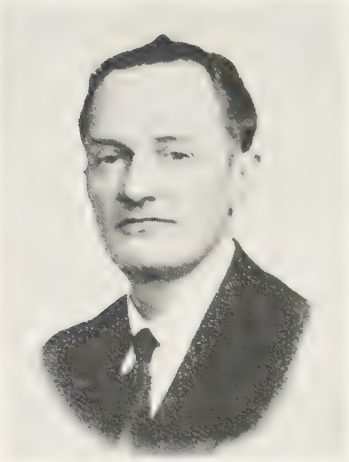
Juillet 1952.
Chaire d'Economie Forestière
et Chaire de Pédologie.

## BIBLIOGRAPHIE

(1) HESSELMAN, H. — Studien über die Humusdecke des Nadelwaldes, ihre Eigenschaften und deren Abhängigkeit von Waldbau. *Meddelanden fran Statens Skogsförsöksanstalt.* Häfte 22 n° 5. 1926. Stockholm.

(2) BOUDRU, M. — A propos de certaines propriétés des feuilles et aiguilles mûres de nos arbres forestiers en liaison avec leur pouvoir améliorant. *Bull. Soc. centr. forest. Belgique*; mars-avril 1947, pp. 129-162.

# In Memoriam



## Léon VANEBERG (1902-1953)

Léon Vaneberg était né à Gembloux le 23 août 1902. Ecolier modèle, ardent à l'étude, il s'était immédiatement fait remarquer par ses premiers éducateurs.

Après avoir suivi les cours de l'Athénée de Namur il réussit les épreuves d'admission à l'Institut Agronomique. Il s'inscrivit comme élève régulier en octobre 1920 et conquit le diplôme d'Ingénieur Agronome Colonial en octobre 1925.

Il s'orienta alors vers la chimie biologique clinique et fut agréé par le « Conseil des Médecins » de la ville de Namur. Dans ce domaine très spécial, il rechercha passionnément des méthodes nouvelles permettant d'augmenter la précision des dosages relatifs à la glycosurie et à l'acidose.

Il fut également agréé par le Ministère de l'Hygiène pour la recherche de falsifications alimentaires, ce qui l'amena à des contacts fréquents avec M. Hendrickx, à cette époque Directeur du Laboratoire de l'Etat à Gembloux, qui l'engagea comme chimiste temporaire. Cette situation fut homologuée le 15 juillet 1931, après une brillante réussite, en octobre 1930, au concours national pour le recrutement des chimistes des laboratoires de l'Etat.

Quelques années plus tard, il fut choisi par M. le professeur Meurice qui lui confia la recherche des principes caractéristiques des plants de tabac provenant des essais comparatifs des diverses variétés cultivées en Ardenne.

Après la suppression du Laboratoire d'Analyses de l'Etat à Gembloux et de son transfert à Liège en mai 1942, il occupa, pendant quelque temps, le poste d'Inspecteur pour les engrais et les denrées alimentaires pour le bétail.

Il rentra ensuite définitivement à la Station de Chimie et de Physique agricoles; il y effectua les travaux analytiques d'ordre général et entreprit des recherches relatives à la détermination de la solubilité des différents phosphates et de la chaux dans les acides organiques.

Doué d'une très vive sensibilité, il mena plusieurs campagnes en faveur de la protection des animaux sans défense et particulièrement des oiseaux. Par ses écrits toujours inspirés par la bonté, par ses conférences parfaitement préparées et exprimées en termes choisis, il défendit de toutes ses forces l'action de la société protectrice des animaux.

Malheureusement, les atteintes d'un mal profond l'obligerent à freiner, puis à abandonner ses travaux scientifiques au cours desquels des résultats intéressants avaient déjà été obtenus. Enfin il subit une opération chirurgicale grave dont il ne put surmonter les suites.

Il mourut le 29 octobre 1953, dans sa cinquante-deuxième année, laissant à ceux qui l'ont connu le souvenir de sa vive intelligence, de son ardeur au travail et de son infinie complaisance.

*
**

# Robert KLETTENBERG (1926-1954)

Le 11 octobre 1954, décédait, dans des circonstances tragiques, Robert KLETTENBERG, assistant à l'Institut Agronomique.

Né à Ixelles, le 16 septembre 1926, il avait suivi les cours de la section gréco-latine à l'Athénée royal de Forest. Il entre à l'Institut le 5 novembre 1945 et, après de brillantes études, est diplômé en 1951, Ingénieur agronome, groupe Horticulture avec distinction.

Dès la fin de ses études, il s'intéresse particulièrement aux applications de la biométrie et profite des instants de loisir que lui laisse son temps de service militaire pour travailler ces questions au service du Docteur Martin, Directeur du Bureau de biométrie de l'I.R.S.I.A. Pendant cette période, il étudie les formes des bourgeons du pommier en vue d'arriver à la détermination des variétés de cette espèce par les fonctions discriminantes.

En 1953, il obtient, avec distinction, le diplôme d'Agrégé de l'Enseignement technique supérieur.

A dater du 1er février 1953, il est nommé assistant au service de l'Horticulture, pour le cours d'Arboriculture d'ornement, de Floriculture et d'Architecture des parcs et jardins.

Il entreprend aussitôt l'étude statistique des résultats obtenus dans les recherches sur la duplicature des giroflées-quarantaines.

Son ardeur au travail, sa ponctualité et son souci de la précision lui avaient acquis l'estime de ses supérieurs, tandis qu'il gagnait la sympathie de tous ses collègues par son caractère égal et sa complaisance jamais en défaut.

L'annonce de sa mort a été accueillie avec une émotion profonde et a fait naître les regrets de tous devant une carrière qui s'annonçait brillante et qui fut brisée à peine commencée.

C. P.

*
**

# Emile MARCHAL

Le Bulletin a appris, avec peine, le décès du Professeur émérite Emile Marchal, Recteur honoraire de l'Institut agronomique et Directeur honoraire de la Station de Phytopathologie de l'Etat. Dans un prochain fascicule, il retracera la carrière éminente de ce savant dont le souvenir restera vivant longtemps encore dans la mémoire des nombreux agronomes et chercheurs qu'il a formés avec tant d'autorité.

# Bibliographie (*)

Em. M. TILEMANS et S. DORMAL. — *La Toxicité des Produits Antiparasitaires.* Revue de l'Agriculture, n° 8, août 1954, pp. 2 à 33.

Ce travail consiste en une étude bibliographique portant essentiellement sur la toxicité aiguë et chronique des matières actives entrant dans la composition des produits phytopharmaceutiques autorisés définitivement à la vente en Belgique.

Les doses dangereuses et mortelles pour l'homme et les animaux à sang chaud y sont données ainsi que les précautions à prendre au cours de la manipulation et les antidotes à administrer en cas d'accidents.

Les auteurs attirent l'attention du lecteur sur le fait que l'usage des produits antiparasitaires doit être judicieux et conditionné par des mesures normales, mais *indispensables*, de sécurité et d'hygiène; dans ces conditions, il ne peut être cause d'intoxications pour l'être humain.

*
**

BRENY R., DETROUX L. — *Rhogogaster viridis L. : une tenthrède nuisible au fraisier.* Parasitica T. IX, n° 3, pp. 89-95 (1953).

Après avoir décrit les dégâts que *Rhogogaster viridis* cause aux fraisiers, les auteurs exposent quelques données biologiques relatives à ce tenthrédinide : position systématique de l'espèce, plantes hôtes et mœurs, dispersion géographique. Des différents produits étudiés comme moyen de lutte, sous forme de poudres à poudrer, le Parathion se révèle le plus efficace; une poudre à 5 % de matière active est suffisante; parmi les insecticides organiques chlorés, seul l'Aldrin (5 % de matière active) présente une action satisfaisante; le DDT, l'HCH, le Lindane, le Chlordane, le Toxaphène et le Dieldrin sont peu ou pas actifs; la poudre de Derris (Roténone) est également sans action contre *R. viridis*.

*
**

L. DETROUX, L. de FAESTRAETS et Y. de LAVELEYE. — *Essai de désherbage chimique des cultures d'asperges.* Parasitica 1954, T. X, n° I, pp. 6 à 13.

La destruction des plantes adventices d'aspergeraies sises à Grobbendonck (Campine), en sol sablonneux, a été effectuée avec succès à l'aide des produits suivants : le sel sodique du 2,4-D, utilisé à la dose de 2 kg d'équivalent acide par Ha; les dérivés du pétrole employés à une dose variant de 300 à 600 l à l'Ha, selon l'état de développement des mauvaises herbes, le C.M.U. excellent herbicide pour asperges à la dose de 6 kg à l Ha.

*
**

* Cette rubrique se rapporte à des travaux publiés, en dehors de ce bulletin, par des membres du personnel scientifique de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches.

Simone DORMAL. — *Le Problème des Traces d'insecticides dans les fruits et les légumes.* Parasitica 1954, T. X, n° 3, pp. 60 à 96.

L'auteur met en évidence l'importance accordée à l'étranger aux résidus des produits phytopharmaceutiques dans les fruits et les légumes en passant en revue la législation s'y raportant et les résultats de contrôles et expérimentaux obtenus notamment aux Etats-Unis, en France et en Grande-Bretagne.

Il décrit ensuite l'étude expérimentale réalisée aux laboratoires de la Station de Phytopharmacie de Gembloux sur des dépôts résiduels de HCH, de lindane et de parathion dans un certain nombre d'échantillons de cerises, de fraises et de feuilles de fraisiers, de pommes de terre, de petits pois et de poireaux.

Il en conclut que l'usage judicieux des produits antiparasitaires réalisé en temps opportun par rapport à la période de récolte ne peut entraîner la présence de résidus en doses susceptibles de provoquer des intoxications chroniques. Il estime néanmoins souhaitable que chaque pays promulgue des lois visant à préserver la santé publique des abus que pourrait engendrer l'usage inconsidéré des produits antiparasitaires.

Ce travail est le premier du genre réalisé en Belgique.

*
**

R. BOUVIGNE, R. CAUSSIN, L. DETROUX, F. HOFF et A. GEEROOMS. — *Etude des produits freinant la germination précoce des pommes de terre (tubercules de consommation et plants).* Med. van de Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstations van de Staat te Gent 1953, XVIII, n° 3, pp. 477-491.

Les auteurs ont étudié l'action de plusieurs produits sur cinq variétés de pommes de terre; les essais qui furent poursuivis durant 3 ans permirent de démontrer le gain appréciable en matière nutritive apporté par l'utilisation de ces produits et notamment ceux à base de tétrachlornitrobenzène (TCNB) et d'Isopropylphénylcarbamate (I.P.C.). appliqués avant l'hiver. Toutefois, lorsque les tubercules sont destinés à la plantation il y a lieu d'éviter l'emploi de composés à base de l'ester méthylique de l'acide $\alpha$ naphtylacétique et d'I.P.C.; mais les produits à base de T.C.N.B. et de méthylnaphyléthyléther peuvent être utilisés sans risque de diminution de rendement (une légère préférence est accordée au T.C.N.B.), mais il convient, lors de leur emploi, de soumettre les tubercules à la prégermination et ce d'autant plus que le lieu de conservation aura eu une température peu élevée. Les essais ont également mis en évidence, d'une façon très nette, l'avantage de la mise en prégermination.

*
**

R. VANDERWALLE et L. DETROUX. — *Sur la persistance de la virulence des spores de Carie (*Tilletia tritici *BERK) incorporés au sol et l'action de quelques désinfectants à sec.* Parasitica, 1954, T. X, n° 1, pp. 14 à 17.

Il ressort des essais effectués par les auteurs que le danger d'infection devient très réduit lorsque les spores de Carie ont été incorporés au sol à l'état de poudre depuis six semaines. Le taux d'infection obtenu dans ces parcelles est voisin de celui obtenu avec du froment non désinfecté et semé sur un sol non infecté de Carie. Cette observation confirme les conclusions des travaux de WOOMAN et HUMPHREY. RAPIN, LHOSTE et RAVAULT qui affirment que les spores libres dans un sol humidifié perdent leur pouvoir germinatif en 30 ou 60 jours.

Il apparaît que dans le cas d'un danger d'infection des semences par le sol, les composés organo-mercuriques laissent à désirer, tandis que les dérivés chlorés (hexachlorbenzène) ou chloronitrés du benzène (Pentachlornitrobenzène) paraissent beaucoup plus efficaces.

*
**

L. DETROUX et R. WAUTHY. — *Résultats de l'expérimentation en champ d'essais, en 1952, de quelques désherbants sélectifs susceptibles d'être utilisés dans les cultures de betteraves.* Publ. Inst. Belge Amél. Bett. 1953, n° 1, p. 1019.

L'essai effectué dans la région de Waremme permet de formuler les conclusions suivantes : aucun herbicide ne peut être considéré comme réellement sélectif dans le cas de la betterave; certains produits ont donné des résultats encourageants, mais souvent contradictoires (le pentachlorphénol ou P.C.P., les dérivés du raffinage du pétrole brut, le trichloracétate ou T.C.A. et l'isopropylphénylcarbamate ou I.P.C.).

*
**

P. H. MARTENS et J. HENRIET. — *Considérations sur l'Indice de Fischer.* Med. van Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstations van de Staat te Gent, 1953, XVIII, n° 2, pp. 327-331.

Les auteurs ont étudié le test de Fischer définissant la tenue en suspension des produits phytopharmaceutiques. L'influence de différents facteurs a été mise en évidence; influence des matières solubles, de l'humidité, de la densité absolue, de la teneur du sédiment en matières actives, de la viscosité et de la température de la phase dispersante.

Quelques considérations sur le mode opératoire, notamment concernant la mise en suspension et l'aspiration, sont également décrites.

*
**

Dr L. MARTIN. — *Appendice Statistique au Rapport sur le pronostic des deux premières années de la Méningite tuberculeuse traitée à la Streptomycine.* — XIV^me Congrès des Pédiatres de Langue Française. — Imprimerie Méd. et Scient., Bruxelles, 1953.

Outre l'analyse biométrique de données expérimentales bien définies, l'auteur saisit l'occasion qui se présente de développer « la logique et la méthodologie statistiques sous-jacentes à l'application du test $\chi^2$ de K. Pearson (1899), revu par Fisher et Yule (1922) ». L'exemple qu'il traite en détail considère l'effet d'une thérapeutique à la streptomycine sur deux caractères en dichotomie : A. Survie et décès après 30 jours; B. Diagnostic précoce et diagnostic tardif. 707 patients sont classés simultanément suivant ces deux critères dans un tableau de contingence $2 \times 2$. Sur la base de cet échantillon, la question est de savoir si « l'état du malade (survie ou décès) est dépendant ou non du fait que le diagnostic est précoce ou tardif ». En supposant l'indépendance des caractères, on peut calculer un tableau de fréquences attendues ou théoriques en vertu de cette hypothèse. Le test $\chi^2$ permet alors de comparer les fréquences observées aux fréquences théoriques et d'en inférer, sur le plan biologique, l'association ou la non association des caractères à l'étude.

Des problèmes analogues, plus ou moins complexes, sont nombreux en Agronomie et en Génétique. C'est pourquoi, cette étude méthodologique du $\chi^2$ dans le cadre de la logique inductive (ou logique du laboratoire de Sir R. A. Fisher), faite pour la première fois en langue française, nous paraît originale et de grand intérêt.

A. L.

*
**

TEGHEM, J. — *Sur les coefficients tayloriens et les points singuliers des fonctions analytiques*, Bulletin de la Classe des Sciences de l'Académie Royale de Belgique, 1954, vol. XL, pp. 518-525.

— *Quelques propriétés relatives aux séries entières et aux fonctions analytiques correspondantes*, Proceedings of the International Mathematical Congress, 1954, Amsterdam, vol. II, pp. 175-176.

L'auteur obtient des conditions suffisantes sur les coefficients d'une série entière

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n z^n$$

pour que la fonction analytique correspondante ait à l'infini un zéro ou un pôle d'ordre inférieur à un entier donné, ou pour que l'origine soit extérieure à l'enveloppe convexe des points singuliers. Il établit aussi des relations entre les coefficients de la série et les points singuliers de la fonction analytique.

DE MUNTER, P. — *Tests non-paramétriques.* Bull. de la Soc. belge de Stat., déc. 1953, p. 38.

Les premiers §§ sont consacrés à des généralités relatives aux tests statistiques en général et à leurs propriétés. Ensuite vient la description de certains tests non-paramétriques (c'est-à-dire, indépendants des f.d. des populations parents) et en particulier d'un test très rapide de régression curvilinéaire. Une bibliographie relative à l'aplication des tests non-paramétriques est également fournie.

DE MUNTER, P. — *Tests non-paramétriques pour la comparaison de deux ou plusieurs échantillons.* Proc. of the Int. Cong. of Math. Amsterdam 1954, v. II, p. 298.

L'auteur propose une inégalité du type de Tchebychef pour deux variables aléatoires afin de rechercher les alternatives de non consistance de tests basés sur la considération simultanée de deux volumes typiques, (application au test de Whitney). Un test est proposé, pour la comparaison de plusieurs échantillons à un échantillon de référence, dont on étudie les alternatives de non consistance.

MANIL, Paul, et STRASZEWSKA, Z. — *Action du sulfate de beryllium sur la levure (« Saccharomyces cerevisiae »).* Comptes rendus des séances de la Société de Biologie, tome CXLVII, mars 1953, p. 525.

MANIL, Paul. — *Action de la mercaptoethylamine sur le crown-gall, « in vivo », et sur la levure.* Comptes rendus des séances de la Société de Biologie, tome CXLVIII, février 1954.

MANIL, Paul. — *Action d'antibiotiques sur des tumeurs végétales.* Annales de la Société Royale des Sciences Médicales et Naturelles de Bruxelles, fasc. 3-4, 1953.

HELY, Frank-W., BONNIER, Charles and MANIL, Paul. — *Investigations concerning nodulation and growth of Lucerne seedlings in a loess soil artificially aggregated to various levels.* Plant and Soil, V, n° 2, 1954, pp. 121-131.

# Livres reçus

Em. TILEMANS. — *Liste des produits phytopharmaceutiques admis définitivement à la vente par la Station de Phytopharmacie de l'Etat.* 101 p. Ministère de l'Agriculture, Bruxelles. 1954.

La liste élaborée par Em. Tilemans comprend entre autres, les insecticides, les fongicides, les produits combinés, les désinfectants de semences, les produits pour la désinfection du sol, des produits anti-rongeurs, anti-fourmis, anti-limaces et anti-corbeaux, les herbicides, les produits contre la formation des jets aux pommes de terre, les phytohormones contre la chute prématurée des fruits, les phytohormones pour favoriser la mise à fruits ou le bouturage, les mouillants et adhésifs et les produits divers. Les adresses des firmes autorisées sont données et une liste alphabétique des produits est dressée. La brochure est complétée par une table de calcul des concentrations d'emploi, par une note de J. HENRIET sur les « *Possibilités de mélanges des produits entre eux* » et un tableau du même auteur sur les compatibilités et incompatibilités des produits phytopharmaceutiques à l'état pur.

*
**

STATION DE PHYTOPHARMACIE DE L'ETAT. — *Recueil des méthodes d'examen des produits phytopharmaceutiques.* Ministère de l'Agriculture, Bruxelles.

Le Ministère de l'Agriculture a publié un recueil des méthodes d'examen des produits phytopharmaceutiques conçu sous forme de feuillets séparés et perforés.

De cette façon, ce recueil peut être complété périodiquement suivant le développement et la mise au point de nouvelles techniques.

Actuellement, il contient les méthodes d'analyses chimiques standardisées des produits à base de cuivre, arsenic, soufre, mercure, thallium, phosphure de zinc, chlorate de sodium, DDT et HCH, 2,4-D, colorants dinitrés et roténone.

La rédaction de ces méthodes est effectuée par J. HENRIET, assistant à la Station de Phytopharmacie, en collaboration avec P. H. MARTENS, Professeur de Chimie Analytique à l'Institut Agronomique de Gembloux, sous le contrôle de la sous-commission de Standardisation des méthodes d'examen des produits phytopharmaceutiques.

Une traduction en langue néerlandaise a été réalisée par P. DE JONGHE, assistant au laboratoire de chimie analytique de l'Institut Agronomique de l'Etat à Gand. Ces recueils peuvent être obtenus au Ministère de l'Agriculture, service de Répression des Fraudes, 14, rue de la Limite, à Bruxelles, ou à la Station de Phytopharmacie de l'Etat à Gembloux.

*
**

« *Anleitung für die Untersuchung von Pflanzen, Pflanzenteilen und Pflanzenerzeugnissen bei der pflanzensanitären Abfertigung durch die Amtliche Deutsche Pflanzenbeschau.*

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft, und Forsten 1954.

Les services officiels allemands chargés de la défense des végétaux viennent de publier la quatrième édition d'une précieuse brochure destinée à leurs techniciens. Elle fournit brièvement tous les renseignements nécessaires pour dépister rapidement sur les végétaux les ravageurs dangereux et les germes de maladies graves de nature à déprécier la marchandise ou d'entraîner l'application des règlements de police

phytosanitaire. Le manuel traite surtout des végétaux faisant l'objet d'échanges internationaux, aussi fournit-il les renseignements pour certains organismes nuisibles ne faisant pas encore partie de la faune et de la flore allemande. De nombreuses illustrations (photos et dessins) complètent les descriptions très précises. Un dernier chapitre traite de la désinsectisation des envois par l'acide cyanhydrique, et fournit le détail de la réglementation allemande en vigueur à ce propos.

Sujets étudiés : Phylloxera-Coccides, dont le Pou de San José et les espèces pouvant être confondues — Mouches des fruits — *Laspeyresia molesta* — Galle verruqueuse et galle poudreuse de la Pomme de terre — Doryphore — Teigne de la Pomme de terre — dépistage et identification des kystes de nématodes dans les envois de pommes de terre — diverses affections redoutables des résineux, Peuplier, Orme, Chêne, Châtaignier, Azalées, Œillets, oignons et bulbes de fleurs, Glaïeuls, Ecaille fileuse. Petit hanneton japonais Ce manuel est destiné à des techniciens avertis munis d'un minima de matériel d'optique et d'équipement de laboratoire.

# Communiqué

## Institut Belge de Normalisation (I.B.N.)

L'Institut Belge de Normalisation a publié la nouvelle édition de son CATALOGUE.

Comme dans les éditions précédentes, on y trouve une notice succincte sur chacune des publications de l'I.B.N. Un répertoire systématique, ainsi qu'un répertoire alphabétique, facilitent les recherches.

Le Catalogue qui est bilingue, est mis en vente au prix de 55 F. Il peut être obtenu, franco de port, contre payement préalable au crédit du compte postal n° 633.10 de l'I.B.N. Le montant de la commande doit comprendre la taxe de transmission si celle-ci est due. Les membres de l'I.B.N. reçoivent d'office le catalogue à titre gracieux.

# Table des Matières du Tome XXII, 1954

Nos 1-2.


IN MEMORIAM. — *Lepoutre, L.* †.

BONNET, J. et COPPENS, R. — L'absorption des éléments nutritifs par le houblon . . . . . 3

DEMORTIER, G., RIGA, A., DARCHEVILLE, M., FOUARGE, J., et SACRE, E. — Le développement des boutures de *Populus Robusta*, Schneid en fonction du rapport $\frac{Ca\cdot\cdot}{Mg\cdot\cdot}$ . . . . . 10

DERENNE, P. — Au sujet des chromosomes sexuels du houblon . . . 18

MANIL, G. et DELECOUR, F. — Comparaison de deux méthodes d'analyse granulométrique avec emploi d'échantillons de terre reconstituée . . . 24

NISEN, A. — Le verre, matériau de construction en horticulture. Premiers résultats de quelques essais . . . . . 32

PECROT, A. et AVRIL, P. — Les sols ardennais. I. Etude morphologique et générale des sols bruns acides et des sols podzoliques du plateau de Saint-Hubert . . . . . 52

PIRAUX, E., JAMOTTE, P., LHEUREUX, F. et LACROSSE, R. — Evolution comparée de l'indice de peroxyde dans les beurres conservés à diverses températures. Peut-on y trouver les éléments d'un test d'aptitude à la conservation ? . . . . . 76

TURBANG, J. — Contribution à l'étude de la régénération naturelle du chêne en Lorraine belge . . . . . 90

DEMORTIER, G. — Observations météorologiques de l'année 1953 . . . 134

VANDERWALLE, R. — Observations et recherches effectuées à la Station de Phytopathologie de l'Etat, pendant l'année 1953 . . . . . 142

Note. — DERENNE, P. — Application du test du chlorure de 2. 3. 5 — triphenyltetrazolium aux plantules de céréales endommagées par le froid . . 155

Bibliographie . . . . . 157

Livres reçus . . . . . 158

Communiqués — C.O.C.O.B.R.O. . . . . 162

XIVe Congrès international d'horticulture . . . . . 164


Nos 3-4.


BONNIER, C. — Action de la colchicine sur la symbiose *Rhizobium — Medicago sativa et Rhizobium — Trifolium pratense* . . . . . 167

BRENY, R. — *Neodiprion sertifer*, Geoffr.; l'œuf et le végétal . . . . 179

CALEMBERT, J. — Quelques données sur l'évaporation et les déficits en eau en Belgique . . . . . 189

DEMORTIER, G. et DROEVEN, G. — Appareil permettant la détermination de la stabilité de la structure des sols . . . . . 213

DEMORTIER, G. et DROEVEN, G. — Type de sonde permettant le prélèvement d'échantillons de sol en place . . . . . 216

DEMORTIER, G. et HUGE, P. — Dispositif expérimental pour l'étude de la fermentation méthanique au laboratoire . . . . . 220

DE MUNTER, P. — Comparaison d'un ou de plusieurs échantillons à un échantillon de référence . . . . . 224

HENNAUX, L. et LECOMTE, R. — L'épeautre en alimentation animale . . 232

LEGROS, R. — Détermination des taux de nicotine et de nornicotine de quelques variétés de tabac cultivées dans le pays et de quelques hybrides à l'étude à la Station . . . . . 235

LENGER, A. — A propos d'une loi mathématique simple concernant la structure équilibrée des peuplements forestiers. Première partie . . . . . 241

MANIL, G. — Un aspect du problème du bilan de l'eau dans le sol : les données de PENMAN sur l'évaporation en conditions naturelles . . . 255

MARTIN, L. et LENGER, A. — Analyse biométrique des courbes d'exportation d'éléments minéraux du sol par les végétaux . . . . . 272

Note. — FROMENT, D. — Quelques résultats au sujet du pH et du pouvoir tampon de la fane de différentes essences forestières . . . . . 287

IN MEMORIAM. — *Vaneberg, L.* † . . . . . 290
*Klettenberg, R.* † . . . . . 291
*Marchal, E.* † . . . . . 291

Bibliographie . . . . . 292

Livres reçus . . . . . 296

Communiqué. — Institut Belge de normalisation. (I.B.N.) . . . . . 298

TABLE DES MATIERES. — Tome XXII, n$^{os}$ 1-2 et 3-4 . . . . . 299

# Encyclopédie Agronomique et Vétérinaire

## MANUEL DE L'AMELIORATION DES PLANTES

par **V. LATHOUWERS**

*Docteur ès Sciences. Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat à Gembloux.*

Tome I : L'Amélioration générale — En réimpression

Tome II : L'Amélioration du Froment, 580 pp., 66 fig. — **150,00**

## LE CHENE PEDONCULE ET LE CHENE ROUVRE

### Leur culture en Belgique

par **A. POSKIN**

*Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. 283 pp., 54 fig., 1 carte en couleurs, — br., **65,00**

## PHYTOTECHNIE DE L'HEVEA — (HEVEA BRASILIENSIS)

### Botanique — Amélioration — Culture et Exploitation

par **M. FERRAND**

*Ingénieur Agronome (A. I. Gx), Chef de la Division de l'Hevea de l'INEAC Directeur du Centre de Recherches de l'Inst. de Rech. pour les Huiles de Palme et Oléagineux de Paris.*

1 vol. 432 pp., 67 fig., 2 hors-textes — **110,00**

## ELEMENTS DE MICROBIOLOGIE GENERALE ET AGRICOLE

par **G. VERPLANCKE**

*Chargé de cours à l'Université de Gand et à l'Institut agronomique de Gand.*

1 vol. in-8°, 328 pp., 105 fig. — br. **45,00**

## LES BOVINS

par **J. LAHAYE** et **J. MARCQ**

*Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.* — *Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

Tome I : La Connaissance du Bétail, 1 vol. in-8°, 196 pp., 166 fig. — En réimpr.

Tome II : Vol. 1. Ethnographie, Hygiène, Reproduction. — En réimpr.

Vol. 2. Alimentation, 1 vol. in-8°, 644 pp., 20 fig. — En réimpr.

## TRAITE DE PATHOLOGIE MEDICALE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

par **F. LIEGEOIS**

*Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.*

1 vol. XXVI - 926 pp., 3e édition, 1949. — **520,00**

## LA FERTILISATION DU SOL ET LES ENGRAIS

par **R. MEURICE**

*Docteur en Sciences,*

*Directeur de la Station de Chimie et de Physique Agricoles de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8° ill., 280 pp. — **60,00**

## TRAITE D'ECONOMIE RURALE

par **A. DELOS**

*Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

Tome I : La Terre, 1 vol. in-8°, 280 pp., 25 fig., — br. **50,00**

Tome II : Le Capital d'exploitation, 1 vol. in-8°, 372 pp., — Epuisé

## PRECIS DE DROIT VETERINAIRE

par **F. LIEGEOIS**

*Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.*

1 vol. in-8°, 332 pp., br. **60,00**

---

## TRAITE COMPLET D'AVICULTURE

par **J. LAHAYE, J. MARCQ** et **E. CORDIEZ**

*Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.*

*Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, 660 pp., 219 fig., 9 hors-textes en quadrichromie, br. **375,00**

---

## LE CHEVAL

par **J. MARCQ** et **J. LAHAYE**

*Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

*Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.*

Tome I : Extérieur du Cheval, 304 pp., 193 fig. br. **175,00**

Tome II : Zootechnie spéciale. Alimentation. Hygiène. Amélioration. **En réimpr.**

---

## LA CANNE A SUCRE AUX ANTILLES FRANÇAISES

par **J. GUILLAUME**

*Ingénieur, Chef de Fabrication aux Antilles.*

1 vol. in-8°, IX-215 pp., fig. br. **56,00**

---

## ELEMENTS DE PATHOLOGIE VEGETALE

### appliquée à la Phytotechnie

par **Em. MARCHAL**

*Professeur émérite à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

**P. MANIL** et **R. VANDERWALLE**

*Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

*Chargé de cours à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, XXIV-540 pp., 205 fig. br. **290,00**

---

## ELEMENTS DE PHYSIOLOGIE VEGETALE

### Les bases scientifiques de la Phytotechnie

par **Em. MARCHAL**

*Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, XVI - 344 pp., 131 fig. br. **225,00**

---

## TRAITE DE SYLVICULTURE

par **A. POSKIN**

*Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, 532 pp., 166 fig. br. **260,00**

---

## A TRAVERS LES FORETS DE PINSAPO D'ANDALOUSIE

### Etude de Dendrologie, de Sylviculture et d'Entomologie forestière.

par **A. BARBEY**

*Expert forestier, Docteur ès-Sciences.*

1 vol. in-8°, 110 pp , 41 pl., br. **40,00**